

Force Sensing Resistor(FSR) Sensor를 이용한 전기인공후두 “Evada”의 기능적 특성에 대한 연구*

연세대학교 의과대학 이비인후과교실, 음성언어의학연구소, 영동세브란스병원 의공학과**
박용재** · 최홍식 · 이주형 · 이성민 · 김광문

= Abstract =

A Study on Functional Characteristics of Electrolarynx “Evada” Using Force Sensing Resistor(FSR) Sensor

Yong Jae Park,** Hong-Shik Choi, M.D., Joo Hyoung Lee, M.D.,
Sung Min Lee, M.D., Kwang-Moon Kim, M.D.

*Department of Otorhinolaryngology, The Institute of Logopedics & Phoniatrics,
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*
*Department of Medical Engineering Yongdong Severance Hospital,**
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Background & Objectives : Electrolarynx has been used as one of the methods of rehabilitation for the laryngectomees. Previous electrolarynx could not alter frequency and intensity simultaneously. This institute developed an electrolarynx named “Evada” using FSR(force sensing resistor) sensor, which can control the frequency(and/or intensity) simultaneously. This study was performed for the normal control and laryngectomees with three types of electrolarynx (Evada, Servox-inton, Nu-vois) to reveal functional characteristics of Evada

Materials and Methods : Five laryngectomees and five normal adults were made to express three sentences(discriptive sentence, “You stay here” ; question sentence, “You stay here?” ; exclamation sentence, “You!! stay here!”), using three types of electrolarynx. Frequency change and intensity change from first and last vowel was calculated in three sentences and analyzed statistically by paired T-test.

Results : The frequency change in the question sentence and exclamation sentence was more prominent in Evada than in Servox-inton and Nu-vois. The intensity change in the question sentence and exclamation sentence was also more prominent in Evada than in Servox-inton and Nu-vois.

Conclusions : Evada could control frequency and intensity simultaneously and control degree of frequency(and/or intensity) according to the pressing force into the button. Evada could adjust continuously frequency and intensity during conversation. So, Evada is better in producing intonation and contrastive stress than Nu-vois and Servox-inton.

KEY WORDS : Electrolarynx · Intonation · Contrastive stress · FSR sensor.

*본 연구는 보건복지부에서 주관한 '95년도 선도기술 의료공학기술개발사업의 지원(HMP-95-G-2-29)에 의하여 이루어진 것임.

서 론

후두전적출술후 언어가 상실되는 것은 앞으로 이비인후과 영역에서 해결하여야 할 커다란 과제중의 하나라고 할 수 있다. 현재까지 후적자들의 음성재활 방법으로는 식도발성, 기관식도누공술, 전기인공후두 등을 이용한 방법들이 사용되어져 왔다¹⁾²⁾. 이중 전기인공후두는 전지로 진동판을 진동시켜 음의 진동을 유발하도록 하고 이것을 경부에 부착시켜 그음이 인두로 전달되게 하여 말을 하는 장치로써 특별한 기술이 필요없고 빨리 말을 배울 수 있는 장점이 있다¹⁾. 현재 상업적으로 사용되어지고 있는 전기인공후두에는 미제인 Nu-vois, 이탈리아제인 Amplicode, 독일제인 Servox-inton, Western electric 5A 등이 있으며, 이들은 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수는 없었다³⁻⁶⁾. 이에 본 연구소에서는 이번에 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수 있는 새로운 전기인공후두를 개발하여 "Evada"라 명명하였다(Fig. 1). 본 연구에서는 Evada와 다른 두 전기인공후두 Servox-inton, Nu-vois를 이용하여, 후적자 5명과 정상인 5명을 대상으로 짧은 문구를 표현하여 주파수와 강도의 변화를 측정하여 실제 회화에서 음의 고저(intonation)와 강세(contrastive stress)를 표현할 수 있는 가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

1. FSR sensor를 이용한 새 전기인공후두 "Evada"의 개발

1) 진동체(Vibrator part)의 개발(Fig. 2, 3)

진동체는 전기인공후두의 핵심이 되는 부분으로 Voice coil, Bobbin, Voice coil holder, ND magnet, Yoke & plate 등으로 구성되어 있으며, 가능한 한 크기를 최소화 하면서 진동에 따른 소음은 줄이고 경부에서의 진동시 부드러운 느낌을 받을 수 있도록 음향기기 전문 회사인 한국음향(주) 연구실의 도움을 받아 제작하였다.

2) 제어부(Control unit)의 개발(Fig. 2)

제어부에는 음의 주파수와 강도를 조절할 수 있는 두 개의 버튼과 FSR sensor(Interlink Electronics Inc.

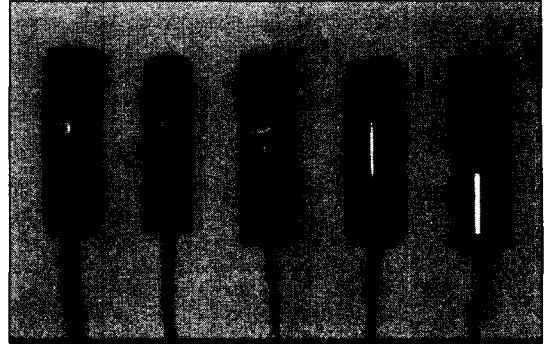


Fig. 1. Currently available electrolyarynx and new developed electrolyarynx "Evada" were shown. Evada large type(left end), Evada small type, Amplicode, Nu-vois, Servox-inton(right end)



Fig. 2. Disassembled Evada was shown. Evada is composed of vibrator part, control unit and battery part.

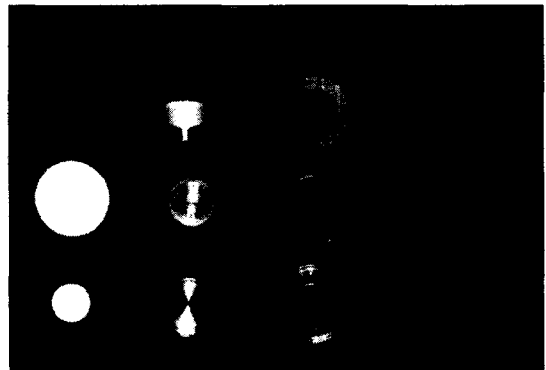


Fig. 3. Parts composed of vibrator part in Evada was shown.

Fig. 4). Unit control circuit, Amplifier, Small outline package(S.O.P) type PC board로 구성되어 있다.

3) 전지부(Battery part)의 개발(Fig. 2)

전지부는 재충전하여 쓸 수 있는 전지를 사용하였으

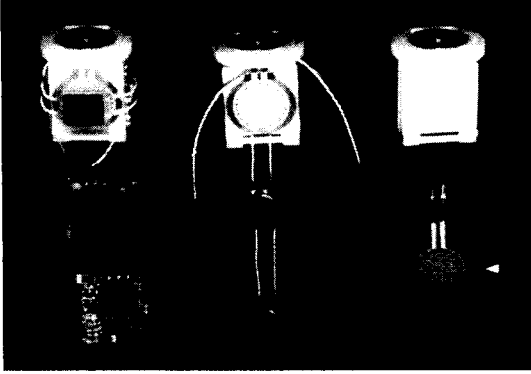


Fig. 4. Force Sensing Resistor(FSR) sensor(Interlink Electronics Inc.) in Evada(arrow head) was shown as a part of control unit.

며, 현재 충전기능 개선을 위해 설계제작 중에 있다.

2. 각 전기인공후두의 성능 비교 검사

새로 개발한 전기인공후두(Evada)의 성능을 기존의 Servox-inton 전기인공후두, Nu-vois 전기인공후두와 비교하기 위하여 50~60대 후적자 5명, 50~60대 정상인 5명을 대상으로 평서문 “너는 남아”(나남님 나 dmd), “아”를 강조한 의문문 “너는 남아?”(나남님 나 dmd?), “너”를 강조한 강조문 “너는 남아!”(나남님 나 dmd)의 문구(Table 1)를 정상 음성과, Evada 전기인공후두, Servox-inton 전기인공후두, Nu-vois 전기인공후두 각각을 이용하여 발생케 하였다.

Evada 전기인공후두로 평서문 “너는 남아”를 발생 할 때는 강도 버튼만을 일정한 강도로 누른 채로 입모양만 “너는 남아”에 맞추었으며, 의문문 “너는 남아?”를 발생할 때는 “너”에서는 강도 버튼만 약하게 누르고 “는”에서는 강도 버튼과 주파수 버튼을 약하게 눌렀으며 “남”에서는 강도 버튼만 약하게 누르고 “아”에서는 주파수 버튼과 강도 버튼을 동시에 강하게 누르게 하였다. 강조문 “너는 남아!”에서는 “너는”에서는 주파수 버튼과 강도 버튼을 동시에 강하게 누르고, “남아”에서는 강도 버튼만 약하게 누르게 하였는데, Evada 전기인공후두의 주파수 변화범위는 90~125Hz, 강도 변화범위는 55~70dB SPL이었다.

Table 1. Three sentences for investigating frequency and intensity change in electrolaryngeal speech

너는 남아. (나남님 나dmd, You stay here.)
너는 남아? (나남님 나dmd? You stay here?)
너는 남아! (나남님 나dmd!, You!! stay here!)

Nu-vois 전기인공후두는 음의 강도와 주파수가 미리 고정된 상태에서 On-off 버튼을 눌러 발생하도록 되어있어 “너는 남아”의 평서문, 의문문, 강조문 모두 버튼의 On 상태에서 발생케 하였는데, 주파수 변화 범위는 97~98 Hz, 강도 변화범위는 57~58 dB SPL로 변화의 크기가 매우 작았다.

Servox-inton 전기인공후두는 음의 강도가 미리 고정된 상태에서 고주파수 버튼과 저주파수 버튼으로 발생에 변화를 주도록 되어있어 평서문 “너는 남아”에서는 고주파수 버튼만 누른 상태에서 발생케 하였고 의문문 “너는 남아?”에서는 “너”에서는 저주파수 버튼만을, “는”에서는 고주파수 버튼만을, “남”에서는 저주파수 버튼만을, “아”에서는 두 버튼을 동시에 누르게 하였고, 강조문 “너는 남아!”에서는 “너는”에서는 두 버튼을 동시에 누르고, “남아”에서는 저주파수 버튼만 누르게 하였는데, 주파수 변화 범위는 85~90Hz, 강도 변화범위는 65~68dB SPL이었다.

시험 시작전에 각 전기인공후두 사용법을 익힐 수 있도록 충분한 연습을 거듭한 후 후적자 5명은 각각의 전기인공후두를 사용 “너는 남아”, “너는 남아?”, “너는 남아!” 각 문구가 적힌 종이푼말을 보고 연달아 1번씩 발음케 하였으며, 정상 성인남자 5명은 고유음성과 각각의 전기인공후두를 사용 “너는 남아”, “너는 남아?”, “너는 남아!” 각 문구가 적힌 종이푼말을 보고, 연달아 1번씩 발음케 하였다. 발생도중에 머리띠 고정형의 소형마이크를 입술앞 5cm에 고정하여 녹음한후 “너는 남아”의 첫 음절 “너”의 모음 “어”와 마지막 음절 “아”의 주파수와 강도를 Computerized Speech Lab.(CSL 4300B ; Kay Elemetrics Co.)를 이용하여 측정, 그 차이를 계산하여 엑셀(Exel 7.0) 프로그램을 이용하여 paired T-test로 통계학적 분석을 시행하였다.

결 과

후적자 5명중 2명은 식도발성을 유창하게 구사하는 사람이었다고 2명은 기관식도누공술의 시술을 받은 환자였으며, 1명은 식도발성 구사능력이 없고 기관식도누공술도 받지 않은 환자였다.

평서문 “너는 남아”에서 주파수 변화는 정상인의 목소리는 평균 18.6Hz의 주파수 감소를 보였으나, 3가지 종류의 전기인공후두를 이용한 경우에는 거의 변화를

Table 2. Frequency change in descriptive sentence(You stay here), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (Hz.)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		1.6	0	0.1
Control	- 18.6	0.6	0.1	0.5

Evada : Servox-inton($p > 0.05$)
Evada : Nu-vois($p > 0.05$)

Table 3. Frequency change in question sentence(You stay here?), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (Hz.)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		34.2	5.3	0.3
Control	36.7	30.0	5.3	0.1

Evada : Servox-inton($p < 0.05$)
Evada : Nu-vois($p < 0.05$)

Table 4. Frequency change in exclamation sentence(You!! stay here!), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (Hz.)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		- 28.8	- 3.5	0.1
Control	- 58.3	- 27.2	- 4.9	- 0.1

Evada : Servox-inton($p < 0.05$)
Evada : Nu-vois($p < 0.05$)

보이지 않았다(Table 2).

의문문 “너는 **남아?**”에서 주파수 변화는 정상인의 음성은 평균 36.7Hz의 주파수 증가를 보였고, Evada의 경우 후적자, 정상인 각각 평균 34.2, 30.0Hz로 정상인 음성의 주파수 증가와 유사한 주파수 증가를 보였으나, Servox-inton, Nu-vois의 경우 변화 정도가 미미하였다(Table 3).

“너”를 강조한 강조문 “**너**는 남아!”에서 주파수 변화는 정상인의 음성은 평균 58.3Hz의 주파수 감소를 보였으며, Evada의 경우 후적자, 정상인 각각 평균 28.8, 27.2Hz로 정상인 음성의 절반 수준의 주파수 감소를 보였으나, Servox-inton, Nu-vois의 경우 변화 정도가 미미하였다(Table 4).

평서문 “너는 남아”에서 강도 변화는 정상인의 음성은 평균 7.8dB의 강도 감소를 보였으나, 3가지 종류의 전기인공후두를 이용한 경우에는 후적자, 정상인 모두 거의 강도 변화를 보이지 않았다(Table 5).

의문문 “너는 **남아?**”에서 강도 변화는 정상인의 음성은 평균 5.0dB의 강도 증가를 보였고, Evada의 경우 후적자, 정상인 각각 평균 7.4, 7.2dB로 정상인 음성보

Table 5. Intensity change in descriptive sentence(You stay here), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (dB SPL)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		- 1.4	1.1	- 0.4
Control	- 7.8	- 1.4	1.5	1.0

Evada : Servox-inton($p > 0.05$)
Evada : Nu-vois($p > 0.05$)

Table 6. Intensity change in question sentence(You stay here?), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (dB SPL)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		7.4	3.4	0.1
Control	5.0	7.2	2.6	0.8

Evada : Servox-inton($p < 0.05$)
Evada : Nu-vois($p < 0.05$)

Table 7. Intensity change in exclamation sentence(You!! stay here!), expressed by normal voice and three types of electrolarynx (dB SPL)

	Normal	Evada	Servox-inton	Nu-vois
Laryngectomee		- 8.8	0	- 0.4
Control	- 10.8	- 11.4	1.5	0.2

Evada : Servox-inton($p < 0.05$)
Evada : Nu-vois($p < 0.05$)

다 높은 강도 증가를 보였으나, Servox-inton, Nu-vois의 경우 변화 정도가 미미하였다(Table 6).

“너”를 강조한 강조문 “**너**는 남아!”에서 강도 변화는 정상인의 음성은 평균 10.8dB의 강도 감소를 보였으며, Evada의 경우 후적자, 정상인 각각 평균 8.8, 11.4 dB로 정상인 음성과 유사한 강도 감소를 보였으나, Servox-inton, Nu-vois의 경우 변화 정도가 미미하였다(Table 7).

고 찰

후두전적출술후 음성재활법으로 현재까지 여러가지 다양한 방법이 고안되었으나, 아직 모든 후적자에게 적용시킬 수 있는 단일방법은 없으며⁷⁾⁸⁾, 식도발성, 기관 식도누공술, 전기인공후두의 세가지 방법이 가장 많이 사용되고 있다¹⁾²⁾.

식도발성은 정상발성과 유사하고 간편하여 음성재활 범중 가장 권장할 만한 방법이지만 무엇보다도 그 성공률이 40~65%로 저조하다는 단점¹⁾이 있다. 우리나라에서 남 등⁹⁾이 후두전적출술후 식도발성을 시도한

37례중 37.8%인 14례만이 식도발성에 성공한 것을 보고한 바 있다.

식도발성이 불가능하거나 실패한 경우의 음성재활법으로는 기관식도누공술과 전기인공후두가 가장 많이 사용되고 있다¹¹. 기관식도누공술의 성공률은 73~88%로^{10,11} 식도발성보다 월등히 높고 음성 언어학적 면에서도 식도발성에 비하여 우수한 성적¹²을 보였다. 그러나 누공의 폐쇄나 흡인등의 합병증^{11,13}이 생길 수 있는 단점이 있다.

식도발성과 기관식도누공술이 실패하거나 적응이 되지 않는 경우 쓸 수 있는 방법이 전기인공후두이다. 전기인공후두는 1920년 후반에 개발되었는데, 전지로 진동판을 진동시켜 소리를 내도록 하고 이것을 경부에 부착시켜 그 음이 인두로 전달되게 하여 발성케 하는 장치¹⁴로 점차 개발되어 보편화되었다. 현재 상업적으로 사용되어지고 있는 전기인공후두에는 미제인 Nu-vois, 이탈리아제인 Amplicode, 독일제인 Servox-inton, Western electric 5A³⁻⁵¹ 등이 있으며, 이들은 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수는 없었다. Nu-vois 전기인공후두에서는 음의 강도와 주파수가 미리 고정된 상태에서 On-off 버튼을 눌러 발성하도록 되어있다. Servox-Inton 전기인공후두는 음의 강도가 미리 고정된 상태에서 고주파수 버튼과 저주파수 버튼으로 발성에 변화를 주도도록 되어 있다.

이에 본 연구소에서는 이번에 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수 있는 새로운 전기인공후두를 개발하여 "Evada"라 명명하였다.

Evada의 특징은 첫째 현재까지의 전기인공후두중에서 가장 크기가 작다는 것이다. 크기별로 Evada small type, Evada large type 두 종류가(Fig. 5) 있는데, Evada small type은 크기가 104×27mm로서 지금까지 크기가 가장 작았던 Servox-inton 117×33mm 보다 더 작다. Evada는 기계적으로 vibrator part, control unit, battery part로 구성되어 있으며(Fig. 2), control unit에는 Force Sensing Resistor sensor(Fig. 4)가 장착되어 있어 버튼을 누르는 강도에 따라 저항의 크기가 변하게 되어 음의 주파수와 강도가 변하게 된다.

본 연구에서는 Servox-inton, Nu-vois, Evada등 3가지 전기인공후두를 사용하여 "너는 남아"라는 짧은 문구의 평서문, 강조문, 의문문을 표현케하여 음의 주

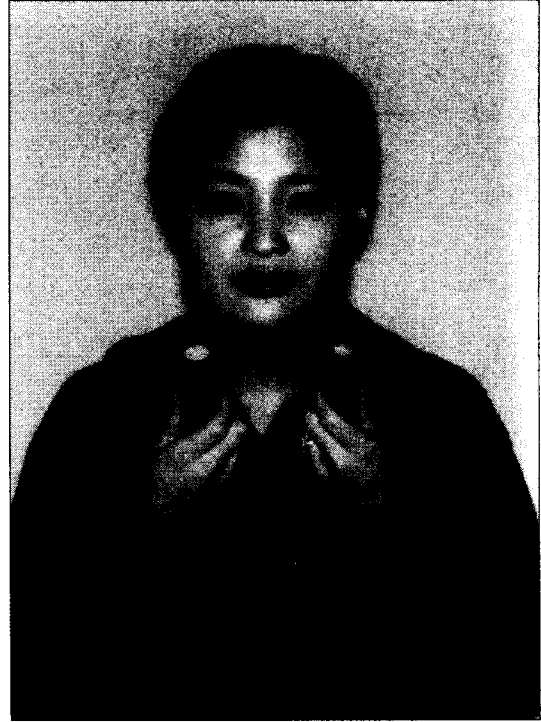


Fig. 5. Completely assembled Evada was shown(left- large type, right-small type).

파수와 강도의 변화를 측정할 결과, Evada가 다른 두 전기인공후두와는 달리 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수 있으며, 버튼을 누르는 힘의 강약에 의해 음의 주파수 또는 강도를 조절할 수 있고, 회화도중에 연속적으로 주파수 또는 강도를 변화시킬 수 있는 장점이 있음을 입증하였다. 따라서 새로 개발한 전기인공후두 Evada는 다른 기존의 전기인공후두보다 회화에 있어 음의 고저(intonation)와 강세(contrastive stress)를 보다 뛰어나게 표현할 수 있을 것으로 생각된다.

아울러 전기인공후두의 음이 기계적이며 단조롭고, 음의 강도가 정상 음성에는 훨씬 미치지 못한다는 단점^{14,15}은 Evada에서도 아직 개선되지 못한 점으로 앞으로 이에 대한 새로운 연구가 필요하다.

결 론

본 연구소에서는 이번에 새로운 전기인공후두를 개발하여 "Evada"라 명명하였다. Evada의 특징은 현재까지의 전기인공후두중에서 가장 크기가 작고 Force Sensing Resistor sensor가 장착되어 있어 버튼을 누

르는 강도에 따라 음의 주파수와 강도가 변하게 된다. 또한 주파수와 강도를 동시에 변화시킬 수 있으며, 회화도중에 연속적으로 주파수 또는 강도를 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 새로 개발한 전기 인공후두 Evada는 다른 기존의 전기인공후두보다 회화에 있어 음의 고저(intonation)와 강세(contrastive stress)를 보다 뛰어나게 표현할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- 1) 홍원표 : 후두전적출술후의 음성재활. 이비인후과 학 서울심포지움 1. 1985 ; 275-308
- 2) Ebihara S : *Voice rehabilitation after total laryngectomy. Japanese J Cancer Chemo.* 1986 ; 13 : 3109-3113
- 3) Blom E : *The artificial larynx : Past and present. In : Salmon SJ, Goldstein LP. The artificial larynx handbook. New York : Grune & Stratton, 1978 : 57-86*
- 4) Weinberg B : *Readings in speech following total laryngectomy. Baltimore : University Park Press, 1980*
- 5) Weinberg B : *Speech alternatives following total laryngectomy. In : Darby J. Speech evaluation in medicine. New York : Grune & Stratton, 1981 : 129-155*
- 6) Gandour J, Weinberg B : *Production of intonation and contrastive stress in electrolaryngeal speech. J Speech Hearing Res.* 1984 ; 27 : 605-612
- 7) Painter C, Fredrickson J : *Electronic devices for speech rehabilitation following laryngectomy. Head Neck Surg.* 1988 ; 10 : 97-100
- 8) Gates GA, Ryan W, Cooper JC : *Current status of laryngectomy rehabilitation. Am J Otolaryngol.* 1982 ; 3 : 1-7
- 9) Nam YW, Choi JO, Lee KS : *A study on voice rehabilitation after total laryngectomy. Korean J Otolaryngol.* 1991 ; 34 : 316-323
- 10) Singer MI, Blom ED : *Selective myotomy for voice restoration after total laryngectomy. Arch Otolaryngol.* 1981 ; 107 : 670-673
- 11) Wetmore SJ, Krueger K, Wesson K : *The Singer-Blom speech rehabilitation procedure. Laryngoscope.* 1981 ; 91 : 1109-1117
- 12) Williams SE, Watson JB : *Speaking proficiency variations according to method of alaryngeal voicing. Laryngoscope.* 1987 ; 97 : 737-739
- 13) Izdebski K, Reed CG, Ross JC : *Problems with tracheoesophageal fistula voice restoration in totally laryngectomized patients. Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1994 ; 120 : 840-845
- 14) Weiss MS, Basili AG : *Electrolaryngeal speech produced by laryngectomized subjects : Perceptual characteristics. J Speech Hearing Res.* 1985 ; 28 : 294-300
- 15) Norton RL, Bernstein RS : *Improved laboratory prototype electrolarynx : Using inverse filtering of the frequency response function of the human throat. Ann of Biomed Eng.* 1993 ; 21 : 163-174