

## 후두암 감별진단에 있어 성문전도(Electroglottograph) 파라미터의 유용성

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실,<sup>1</sup> 의공학협동과정,<sup>2</sup> 의공학교실,<sup>3</sup>  
동아대학교 의과대학 의공학교실,<sup>4</sup> 창원대학교 공과대학 제어계측학과,<sup>5</sup>  
동의대학교 인문대학 영어영문학과<sup>6</sup>

송인무<sup>1</sup> · 왕수건<sup>1</sup> · 고의경<sup>1</sup> · 전경명<sup>1</sup> · 권순복<sup>2</sup> · 김기련<sup>2</sup>  
전계록<sup>3</sup> · 김광년<sup>4</sup> · 정동근<sup>4</sup> · 조철우<sup>5</sup> · 양병곤<sup>6</sup>

= Abstract =

### The Effectiveness of Electroglottographic Parameters in Differential Diagnosis of Laryngeal Cancer

In-Moo Song, M.D.,<sup>1</sup> Soo-Geun Wang, M.D.,<sup>1</sup> Eui-Kyung Goh, M.D.,<sup>1</sup>  
Kyong-Myong Chon, M.D.,<sup>1</sup> Soon-Bok Kwon, M.S.,<sup>2</sup> Gi-Ryun Kim, M.S.,<sup>2</sup>  
Kye-Rok Jeon, Ph.D.,<sup>3</sup> Gwang-Nyeon Kim, M.S.,<sup>4</sup> Dong-Keun Jung, M.D.,<sup>4</sup>  
Cheol-Woo Jo, Ph.D.,<sup>5</sup> Byung-Gon Yang, Ph.D.<sup>6</sup>

*Department of Otolaryngology,<sup>1</sup> College of Medicine, Interdisciplinary Program in Biomedical Engineering,<sup>2</sup>  
Biomedical Engineering,<sup>3</sup> Busan National University, Busan, Korea*

*Department of Biomedical Engineering,<sup>4</sup> College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea*

*Department of Control & Instrumentation Engineering,<sup>5</sup> Changwon National University, Changwon, Korea*

*Department of English,<sup>6</sup> College of Humanities, Dong-Eui University, Busan, Korea*

**Background and Objectives** : Electroglottography(EGG) is a non-invasive method of monitoring the vocal cord vibration by measuring the variation of physiological impedance across the vocal folds through the neck skin. It reveals especially the vocal fold contact area and is widely used for basic laryngeal researches, voice analysis and synthesis. The purpose of this study is to investigate the effectiveness of EGG parameters in differential diagnosis of laryngeal cancer.

**Materials and Methods** : The author investigated 10 laryngeal cancer and 25 benign laryngeal disease patients who visited at the Department of Otolaryngology, Pusan National University Hospital. The EGG equipment was devised in the author's Department. Among various parameters of EGG, closed quotient(CQ), speed quotient(SQ), speed index(SI), Jitter, Shimmer, Fo were determined by an analysis program made with MATLAB 6.5<sup>®</sup>(Mathwork, Inc.). In order to differentiate various laryngeal diseases from pathologic voice signals, the author has used the

논문접수일 : 2003년 2월 28일

심사완료일 : 2003년 4월 8일

책임저자 : 왕수건, 602-739 부산광역시 서구 아미동 1-10 부산대학교 의과대학 이비인후과학교실

전화 : (051) 240-7331 · 전송 : (051) 248-8668 E-mail : wangsg@pusan.ac.kr

electroglottographic parameters using the neural network of multilayer perceptron structure.

**Results :** SQ, SI, Jitter and Shimmer values except those of CQ and Fo showed remarkable differences between benign and malignant laryngeal disease groups. From the artificial neural network, the percentage of differentiating the laryngeal cancer was over 80% in SQ, SI, Jitter, Shimmer except for CQ and Fo. These results indicated that it is possible to discriminate the benign and malignant laryngeal diseases by EGG parameters using the artificial neural network.

**Conclusion :** If parameters of EGG which can reveal for the pathology of laryngeal diseases are additionally developed and the current classification algorithm is improved, the discrimination of laryngeal cancer will become much more accurate.

**KEY WORDS :** Laryngeal cancer · Electroglottograph · Neural network · Differential diagnosis.

## 서 론

후두암은 초기에 발견하면 90% 이상의 높은 치유율과 발생기능의 보존도 가능하지만, 자궁암의 조기진단법과 같은 정립된 선별검사(screening test)는 없는 실정이다. 그러나 후두암의 가장 흔한 초기 증상이 음성의 변화(hoarseness)이기 때문에 음성을 분석하면 악성여부의 감별이 가능하며 이에 대한 연구는 상당히 진행되어 왔다.<sup>1-4)</sup>

음성을 이용한 후두질환의 감별은 간단하고 비침습적인 방법으로 음성장애 환자의 음성만을 녹음하여 분석하기 때문에 집단검진 뿐 아니라 인터넷을 이용한 원격진료(telemedicine)에도 이용될 수 있다. 그러나 음성분석법을 이용한 경우 실제 음성장애가 심해질수록 음성장애를 치료하는 전문의는 더 쉽게 질환 감별이 가능한 반면, 음성분석기기는 오히려 분석 오류가 발생하게 되어 감별률이 현저히 저하되기도 한다. 음성분석 파라미터를 임상에 처음 적용한 것은 1961년 Lieberman<sup>5)</sup>이 pitch perturbation 파라미터를 이용한 것이 시초이며, 음성샘플을 이용하여 후두암의 감별을 시도한 것은 1971년 Hecker와 Kreul<sup>6)</sup>이 pitch 파라미터의 일종인 directional perturbation factor를 개발하여 적용한 것이 최초이다.

성문전도(electroglottograph, EGG)기기는 갑상연골 부위의 경부피부에 부착시킨 전극사이의 생체 임피던스(impedance) 변화를 전류의 변화로 측정하여 성대의 진동 특히 성대 접촉에 대한 정보를 추출해주는 기기로서 임상뿐만 아니라 후두생리 및 발생과 음성합성 등 음성학적 연구에 많이 사용되고 있다.

저자는 성대진동에 대한 분석이 기존의 음성분석에 비해 분석오류가 적고, 성대의 병변을 보다 더 정확하게 진

단할 수 있다는 전제하에 새로 고안한 EGG(v1.0)기기를 이용하여 정상 및 양성후두질환자와 후두암환자에서 closed quotient(CQ), speed quotient(SQ), speed index(SI), Jitter, Shimmer를 구한 후, 이 결과를 다층 퍼셉트론(multilayer perceptron) 구조의 신경회로망(artificial neural network)을 이용하여 후두암의 감별이 가능한지를 평가하고자 본 연구를 시행하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 연구 대상

2002년 8월부터 2002년 9월까지 부산대학교병원 이비인후과에서 조직검사상 편평상피세포암으로 확진된 후두암 환자 남자 10명과 같은 기간동안 애성을 주소로 본원을 방문하여 양성 후두질환으로 확인된 남자 26명을 대상으로 하였다. 질환별 분포는 성대 결절 6례, 용종 10례, 라인케 부종 5례, 성대마비 5례이었다. 정상 대조군은 흡연력이 없고 후두병변과 조음에 이상이 없으면서 정상적인 발성이 가능한 성인 남자 20명을 대상으로 하였다.

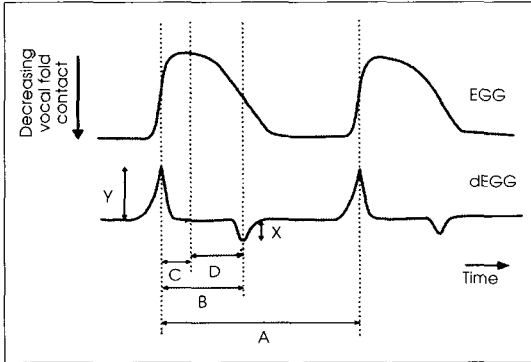
### 2. EGG 파라미터의 추출

Matlab 6.5\*(Mathwork, Inc.)를 이용하여 각 파라미터를 구하는 알고리즘을 프로그래밍하였다. CQ는 성대진동 1주기 중 성대가 닫혀 있는 시간의 비율로서 Fig. 1의 B/A에 해당된다. SQ는 폐소기(closing phase, Fig. 1의 C)의 시간에 대한 개대기(opening phase, Fig. 1의 D)의 시간 비율로서 Fig. 1의 D/C에 해당된다. SI는 개대속도(opening velocity, Fig. 3의 X)에 대한 폐쇄속도(closing velocity, Fig. 1의 Y)의 비율<sup>7)8)</sup>로서 Fig. 1의

Y/X에 해당된다. Jitter는 구간별 음조(pitch)의 변화를 의미하며, 단기간의 상대적인 변이를 나타낸다. 따라서 연속되는 정점 주기간에 발생하는 정점의 변이 현상에 민감하며, 기본주파수의 높이에 대해서 크게 영향을 받지 않는다. 구하는 공식은 다음과 같다.

$$Jitter(\%) = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |T_{0(i)} - T_{0(i+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0(i)}} \times 100$$

Shimmer는 구간별 진폭치의 상대적인 동요 비율을 나타낸다. 즉 짧은 구간에서 음성 크기의 불규칙성을 측정할 수 있다. 즉 음성 신호에 어느 정도의 잡음이 섞였



**Fig. 1.** Parameter of electroglottograph. A : one cycle of vocal fold, B : closed phase, C : closing phase, D : opening phase, X : opening velocity, Y : closing velocity.

는지 아니면 음성 신호의 진폭 변이가 불규칙한 정도를 알 수 있으며 구하는 공식은 다음과 같다.

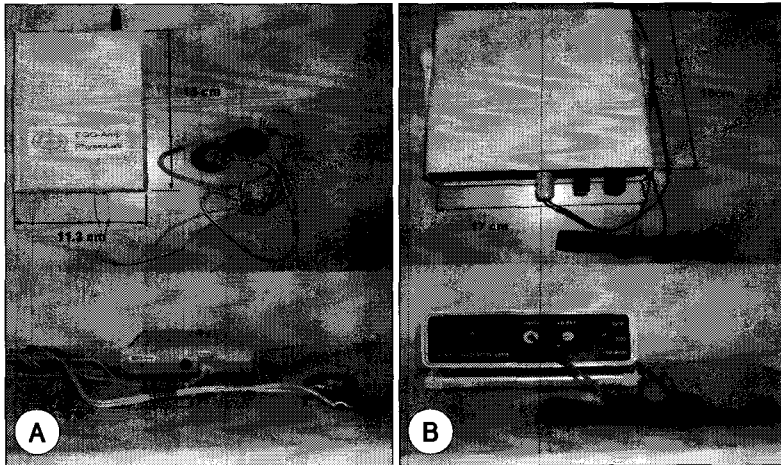
$$Shimmer(\%) = \frac{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} |A^{(i)} - A^{(i+1)}|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A^i} \times 100$$

### 3. EGG 파라미터의 측정

부산대학교병원 이비인후과 음성언어검사실에서 피검자를 편안한 자세로 앉게 하고 목을 고정시키고, 2개의 링전극을 갑상연골 외측 경부의 피부에 부착하여 압박 붕대로 고정하였다. 새로 고안한 EGG(v1.0)와 현재 가장 많이 사용되고 있는 Laryngograph®(London UK)를 이용하였으며, 각 기기의 아날로그 출력부를 개인용 컴퓨터의 사운드 카드 입력부에 연결하여 동일한 조건에서 측정하였다. EGG(v1.0)의 사양과 회로도(circuit diagram) 및 모식도(block diagram)는 Table 1, Fig. 2, 3과 같다.

**Table 1.** Specification of electroglottograph (v1.0)

Power supply voltage : ±8V
Carrier frequency : 2.7MHz
Low pass filter : 20KHz
Ling electrode diameter : 38mm
Electrode input voltage : ±5V
Output voltage : 0- ±1V



**Fig. 2.** Electroglottograph (v1.0) (A) and Laryngograph®(B).

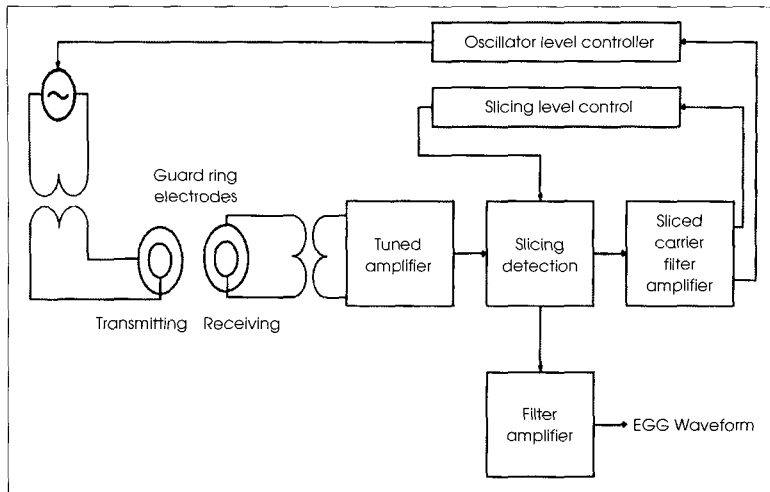


Fig. 3. Block diagram of electroglottograph (v1.0).

EGG(v1.0)의 회로도를 설명하면 다음과 같다. 인체에서 EGG 측정은 미약한 전기신호를 경부에 가하여 측정하므로 안정성을 확보하기 위하여 기기의 전원과 자극 신호 간에 전기적으로 분리시켜야 한다. 따라서 전극은 EGG 기기와 유도성 결합으로 되어 있으며 직류적으로는 분리되어 있다. 인체의 피부는 높은 직류 저항을 띠고 있으며 용량성이 존재한다. 피부의 전기저항을 극복하고 성대의 전기 저항 변화를 기록하기 위하여, 전극을 통하여 2.7MHz의 고주파수 캐리어 신호를 가해 성대의 전기 임피던스 변화를 추출하였다. 또한 전극의 위치 및 개인적인 피부 임피던스의 차이를 극복하기 위하여 자동 이득조절(automatic gain control)기능을 회로에 첨가하였다. 수신부의 신호는 매우 미약하므로 검출된 캐리어 신호를 공진 증폭기를 통하여 증폭하였으며, 증폭된 캐리어 신호에서 검파회로를 통하여 임피던스 변화에 따른 캐리어 신호의 진폭 변화를 검출하였다.

검출된 성대 운동의 전기적 신호에서 잡음 제거를 위하여 저역통과필터를 거쳤으며, 성대 운동을 나타내는 출력 아날로그 신호는 외부기록기 또는 개인용 컴퓨터의 데이터 획득시스템 또는 사운드 카드의 마이크 입력 단자를 통하여 전달하였다. 볼륨을 사용하여 출력신호가 적정 신호 크기가 되도록 조절하여 사용하였다.

EGG 파라미터의 측정시 피검자의 기본주파수의 변화에 따른 측정 오류를 방지하기 위해 모음 /아/의 포먼트, 진폭, 대역폭 등의 주요 음향 파라미터를 분석한 결과를 토대로 포먼트 합성 소프트웨어인 SenSynPPC

(Sensimetrics)를 이용하여 120Hz의 모음 /아/를 합성하고, 이 음성을 피검자에게 10초간 연속하여 들려주면서 이와 비슷한 음조로 발음하도록 연습시킨 후, 5회 발성한 음성 가운데 처음과 끝을 제외한 가장 안정된 부분을 선택하여 CQ, SQ, SI, Jitter, Shimmer, Fo를 구하였다. 통계분석 처리는 엑셀(Microsoft, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 구하였고, 이들 값 사이의 상관관계는 SPSS PC10.1(SPSS, Inc)을 이용하여 구하였다.

#### 4. EGG 파라미터의 분석

각 파라미터의 분석은 사운드 카드를 통해 입력된 신호를 Matlab 6.5<sup>®</sup> (Mathwork, Inc.)로 작성한 Wav\_read 프로그램을 이용하여 EGG파일로 저장하였다. Wav\_read로 저장한 데이터를 Matlab 6.5 (Mathwork, Inc.)로 작성한 EGG\_dialog 프로그램에서 불러들인 후 분석하고 결과를 그래프로 제시하였다. 분석 과정에서 EGG 파형의 기저선 변동을 보상하기 위해 고역통과필터를 사용하였으며 신호외의 잡음을 제거하기 위해 저역통과필터를 이용하였다. EGG의 한 주기에서 파라미터를 구하기 위해서는 최고점, 최소점, 최대 기울기점, 최소 기울기점과 같은 특징점을 추출하고 EGG 및 미분 EGG(dEGG)의 최대 최소값을 통해 특징점을 구하였다. 이 프로그램은 앞에서 제시한 파라미터의 값을 구하고 파라미터 값의 시간에 따른 변화를 보여주며 평균값도 제시하였다 (Fig. 4, 5).

## 5. 다층 퍼셉트론 구조의 신경회로망을 이용한 질환별 분류

신경회로망에 각 후두질환의 CQ, SQ, SI, Jitter, Shimmer, Fo의 측정치를 입력하여 오차 역전파법(error back propagation)으로 학습시킨 후 학습된 판단에 의거하여 자동적으로 질환을 분류하는 시스템을 구현하였으며 이를 이용하여 정상, 양성후두질환 및 후두암의 분류율을 구하였다.<sup>9)</sup>

본 연구에서 사용한 신경회로망은 입력층, 은닉층, 그리고 출력층을 가지는 다층 퍼셉트론 구조를 갖고 있으며, 입력층은 2개의 뉴런으로 구성되어 질환을 분류할 수 있는 특징적인 파라미터를 입력하도록 하였고, 출력층은 분류하고자 하는 질환을 나타내며 2개의 뉴런으로 구성하였다. 은닉층은 발견법적(heuristic) 방법에 의해 6개의 뉴런으로 구성하였으며, 초기 학습률은 0.01, 최

대 학습횟수는 50,000회, 학습 도달 오차는 0.01로 설정하였다. 신경회로망을 학습시 본 연구를 위하여 수집된 데이터의 갯수가 적기 때문에 학습과 검증에 동일한 데이터를 적용하여 본 실험을 수행하였다. 질환에 따른 데이터갯수의 차이를 동일하게 맞추기 위해 갯수가 적은 경우에는 이를 복사하여 무작위로 다시 채워 넣어 수행하였다.

## 결 과

### 1. EGG(v1.0)와 Laryngograph®의 성능비교

두 기기의 성능을 비교하기 위하여 정상 성인 남자 20명의 CQ, SQ, SI, Jitter, Shimmer 및 Fo 측정치와 상관계수를 구하였다. 피검자의 음조의 평균이 Laryngograph®를 이용한 경우에는  $133.8 \pm 4.4\text{Hz}$ 이었고, EGG(v1.0)에서는  $138.2 \pm 2.3\text{Hz}$ 로 나타났다. 이는 피검자들이 두 기기를 사용할 때 대체로 안정된 음조로 발생하였다고 생각된다. 두 기기의 검사 결과의 상관계수(correlation)는 CQ의 경우 0.83, SQ 0.89, SI 0.97, Fo 0.86, Jitter 0.17, Shimmer 0.56 이었다. 이는 전극의 부착부위와 발생하는 과정에서 음조가 변하기 때문에 완전한 상관계수를 기대할 수 없음에도 불구하고 대체로 높은 상관도를 나타내고 있다. 이 중에서 상대접촉과 분리의 구간별 분석을 나타내는 CQ, SQ와 SI는 상관도가 매우 높으나 Jitter는 매우 낮은 상관도를 보였다. 이는 Laryngograph®에서는 피검자의 평균이  $0.82 \pm 0.39$ 이었고 새로 고안한 Electroglottograph(v1.0) 기기에서는  $0.78 \pm 0.32$ 로 모든 피검자가 정상인이면서 안정된 발음을 하고 있기 때문으로 추정된다. 두 기기가 완벽한 상관도를 보이지 않는 것은 두 기기를 동시에 측정하지 않은 결과로 추정되며 이상의 결과를 토대로 이후의 검사는 Electroglottograph(v1.0)로 측정하였다.

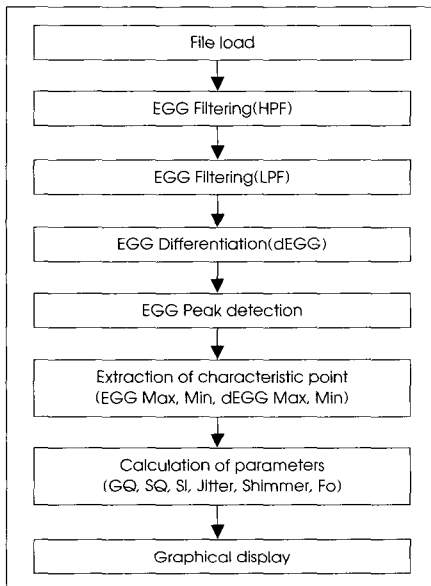


Fig. 4. Flow chart of EGG\_dialog.

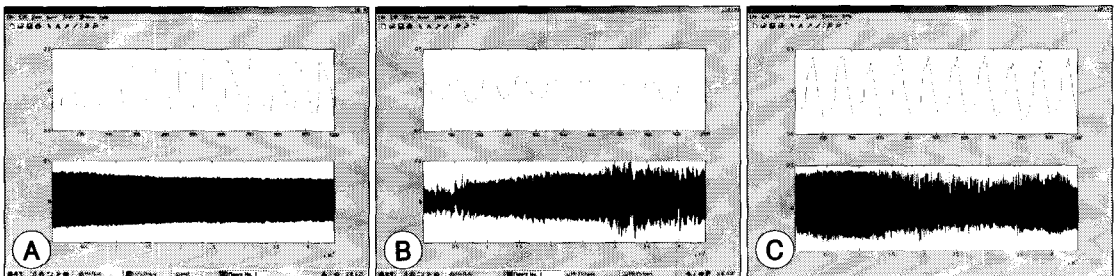


Fig. 5. EGG local finding of normal (A), vocal nodule (B) and glottic cancer (C).

**Table 2.** Value of EGG parameter

p-value&lt;0.05

Disease (case)	EGG parameter					
	CQ	SQ	SI	Fo	Jitter	Shimmer
Normal (20)	0.47±0.06	3.91±0.82	3.21±0.86	137.9±10.36	0.78± 0.17	0.52± 0.30
Nodule (6)	0.42±0.06	2.98±1.15	2.51±0.62	151 ± 12.12	0.70± 0.18	0.54± 0.24
Polyp (10)	0.39±0.19	3.16±1.95	2.50±0.64	136.3±16.77	1.53± 1.07	2.13± 1.49
Edema (5)	0.58±0.08	3.24±1.90	2.30±0.72	114.1± 38.07	11.64±16.86	3.70± 5.13
Palsy (5)	0.50±0.14	1.62±0.70	1.63±0.18	142.7±62.75	11.22± 12.56	6.74± 7.94
Cancer (10)	0.42±0.14	1.40±0.57	1.71±0.70	165 ±41.30	16.31 ± 18.11	15.24 ± 18.26
p-value	p>0.094	p<0.001	p<0.0002	p>0.104	p<0.012	p<0.010

Edema : Reinke's edema, Palsy : vocal cord paralysis, Cancer : laryngeal cancer, CQ : closed quotient, SQ : speed quotient, SI : speed index, F0 : fundamental frequency

**Table 3.** Discrimination of laryngeal cancer using MLP

%

Disease (case)	EGG parameter					
	CQ	SQ	SI	Fo	Jitter	Shimmer
Cancer	60	90	80	100	80	80
N-B	36.1	90	69.4	0	88.8	86.1
p-value	p>0.418	p<0.001	p<0.005	p>0.018	p<0.003	p<0.0002

Cancer : glotttic cancer, N-B : normal and benign laryngeal disease

p-value&lt;0.05

**Table 4.** Discrimination using the 2 parameters

%

Disease (case)	EGG parameter					
	SQ-Jitter	SQ-Shimer	Jitter-Shimer	SQ-SI	SI-Jitter	SI-Shimer
Cancer	100	100	90.0	90.0	100	100
N-B	86.1	88.9	94.4	80.5	91.6	83.3

Cancer : glotttic cancer, N-B : normal and benign laryngeal disease

## 2. 각 질환별 CQ, SQ, SI, Jitter, Shimmer 및 Fo 측 정치

EGG 파라미터 각각의 분별율을 알기 위해 일원변량 분석(one-way ANOVA)으로 처리한 결과 CQ와 Fo는 정상 및 양성후두질환군과 후두암군간 유의한 차이가 없었으나 SQ, SI는 성대마비 및 후두암군에서 정상군에 비해 유의하게 낮은 수치를 보였고, Jitter와 Shimmer는 성대결절을 제외하고 모든 군간 유의한 차이를 나타 내었다(Table 2).

## 3. 신경회로망을 이용한 후두암의 감별율(Predictability)

다층 퍼셉트론 신경회로망을 이용하여 각각의 파라미터에 대한 실험에서 정상 및 양성후두질환군과 후두암군 간 감별율은 SQ, SI, Jitter, Shimmer에서 통계적인 유의성이 있었으며, SQ에 의한 후두암의 감별율이 90%로 가장 높았으나, 그외 1개의 파라미터를 이용한 경우 감

별율은 17.9%에서 87.3%로 불량하였다(Table 3).

각 파라미터의 분별율 실험에서 유의한 파라미터로 관찰된 SQ, SI, Jitter, Shimmer를 각각 2개씩 조합하여 후두암 감별실험을 수행한 결과 SI-Jitter 조합이 후두 암을 후두암으로 분류한 확률이 100% 정상과 양성후두 질환을 정상과 양성으로 분류한 확률이 91.6%로 후두 암의 감별율(predictability)은 93.6%로 매우 높았으며, SQ-SI의 감별율은 82.1%로 가장 불량하였다(Table 4).

SQ, SI, Jitter, Shimmer를 3개씩 조합한 실험에서는 SQ-Jitter-Shimmer와 SQ-SI-Shimmer의 후두암 의 감별율이 각각 93%로 가장 높았고, SQ-SI-Jitter 90.9%, SI-Jitter-Shimmer 88.6%로 전체적으로 85% 이상의 높은 감별율을 나타내었다(Table 5).

SQ, SI, Jitter, Shimmer 모두를 조합하여 실험한 결 과 후두암 감별율은 93%이었다(Table 6).

**Table 5.** Discrimination using the 3 parameters

Disease (case)	EGG parameter			
	SQ-Jitter-Shimmer	SQ-SI-Jitter	SQ-SI-Shimmer	SI-Jitter-Shimmer
Cancer	100	100	100	100
N-B	91.6	88.8	91.6	86.1

Cancer : glottic cancer, N-B : normal and benign laryngeal disease

**Table 6.** Discrimination using the 4 parameters %

Disease (case)	EGG parameter
	SQ-SI-Jitter-Shimmer
Cancer	100
N-B	91.6

Cancer : glottic cancer, N-B : normal and benign laryngeal disease

## 고찰

성대의 병변은 성대의 진동에 직접 영향을 주기 때문에, 병변에 따라 특징적인 음성의 변화를 초래한다. 그러므로 성대의 병변을 평가하기 위해서는 발성시의 성대 진동의 양상에 대한 이해가 선행되어야 한다.

성대는 갑상연골 내측에 후두내근, 인대, 점막으로 갑상연골, 피열연골 및 운상연골과 연결되어 있으며 호흡 시에는 외전근 즉 후윤상피열근의 작용으로 피열연골이 외전하여 폐로의 공기 흐름을 원활하게 하지만, 발성 시에는 내전근에 의해 피열연골이 내전하여 공기의 흐름을 차단하게 된다. 이어서 성문하 호기압(subglottic pressure)이 증가하여 성대가 열리게 되며, 이 좁은 성문(glottis)을 통해 빠른 속도로 공기가 지나가면서 주위의 기압이 낮아지게 되어 성대가 다시 붙게 된다. 이를 베르누이 효과(Bernoulli effect)라고 한다. 이어서 성문하 호기압이 재차 증가하면 다시 성대가 열리는 과정이 되풀이 된다. 이 과정은 van den Berg의 공기역학적 근육 탄성이론(aerodynamic myoelastic theory)<sup>10)</sup>으로 현재 성대진동원리에 대한 가장 신빙성이 있는 학설로 받아들여지고 있다. 이런 과정을 통해 성인 남성은 초당 70~200회, 성인 여성은 140~400회, 어린이는 180~500회 성대가 진동하게 된다.<sup>11)</sup>

Childers 등<sup>12)</sup>은 초고속 후두촬영(ultra high-speed digital image)과 EGG기기를 이용하여 관찰한 결과 성대의 진동은 단순한 개폐운동이 아니고 복잡한 3차원적 운동이라고 하였다. 즉 성대는 상순(upper lip)과 하순

(lower lip)이 각각 독립적인 운동을 하며, 먼저 하순이 닫히고 이어서 상순이 닫히기 시작하는 폐소기(closing phase)를 지나 일정 기간의 폐쇄기(closed phase)가 있는 후 하순부터 열리고 나서 상순이 열리기 시작하는 개대기(opening phase)를 거쳐 개방기(open phase)로 이행되어 성대진동의 일주기(one vibratory cycle)를 이룬다. 그리고 지퍼양상(zipperlike manner)으로 성대의 후방에서 전방으로 열리기 시작하여 개방기를 지나, 전방에서 후방으로 닫히기 시작하여 폐쇄기로 이행한다. 이를 EGG의 부위와 비교하여 설명하면 Fig. 6과 같다.

성대의 진동을 검사하는 방법에는 후두스트로보스코피(laryngeal stroboscopy), 카이모그래피(kymography),<sup>13)</sup> 초고속후두촬영(ultra high-speed laryngeal image)<sup>14)</sup>과 같이 직접 성대를 관찰하면서 측정하는 방법과 성문도검사(glottography)와 같이 성대를 직접 관찰하지 않으면서도 성대의 진동파형을 추출할 수 있는 방법이 있다. 성문도검사는 비침습적인 방법으로 성대를 직접 관찰하는 방법에 비해 간단하면서도 비교적 경제적인 검사 방법으로 1957년 Fabre<sup>15)</sup>에 의해 EGG검사가 최초로 소개되었으며, 1959년 Miller에 의한 역여과성문도검사(inverse filtering), 1968년 Asano에 의한 초음파성문도검사(ultrasonic detection), 1969년 Lisker 등에 의한 성문광전도검사(photoglottography)가 소개되었다. 각 방법마다 특징과 장단점을 갖고 있으나 이 중에서도 임상과 연구에 가장 널리 사용되고 있는 방법이 EGG검사이다.

EGG검사의 결과 판정시 오류를 범하기 쉬운 것은 성대진동 일주기(one cycle)의 파형(waveform)에서 성문의 열림과 닫힘의 위치를 혼동하여 종종 정반대의 결론을 도출하기도 한다. 이를 해결하기 위해 양<sup>11)</sup>은 피검자에게 숨을 깊이 들이쉬게 한 뒤, 숨을 갑자기 멈추게 하고, 곧 이어 /하~/ 하면서 숨을 내쉬게 하여 파형을 검토하면 성문의 닫힘점과 열림점의 방향을 쉽게 알 수 있다고 하였다. 그외 안정된 /아/(성인 남자 약 130Hz, 성

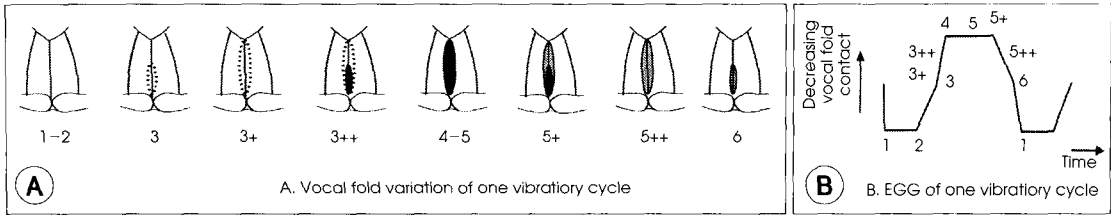


Fig. 6. Vocal fold variation and EGG of one vibratory cycle. 1-2 both closed, 3 upper closed & lower 1/2 open, 3+ upper closed & lower open, 3++ upper 1/2 open & lower open, 4-5 Both open, 5+ upper still open & lower 1/2 closed, 5++ upper open & lower closed, 6 upper 1/2 closed & lower closed.

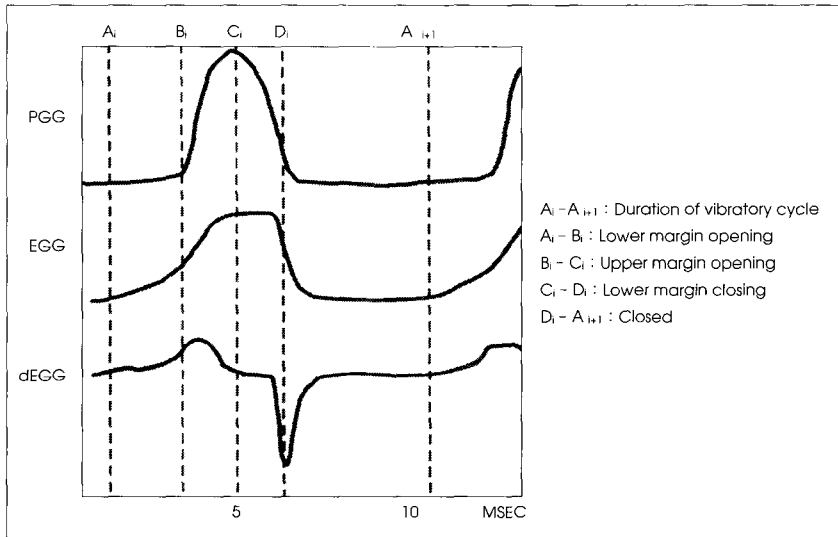


Fig. 7. One vibratory cycle of EGG, dEGG, PGG<sup>8)</sup>.

인여자 약 220Hz)를 발생시켰을 때, 폐소기(closing phase)의 시간이 개대기(opening phase)의 시간보다 짧기 때문에 경사도가 급격한 양상을 이루는 부분이 어느 방향인지를 확인하면 감별이 가능하다.

Baer 등은 EGG검사시 dEGG와 성문광전도(photoglottography, PGG) 검사를 함께 시행하면 초고속후두촬영과 거의 비슷한 성대진동의 정보를 얻을 수 있다고 하였다. Childers와 Krishnamurthy<sup>12)</sup>는 이 방법으로 상순이 열리는(upper margin opening) 정보 뿐 아니라 하순의 닫히는(lower margin closing) 정보도 얻을 수 있다고 하였다(Fig. 7).

EGG검사에 영향을 주는 인자에는 기본주파수 즉 음조, 발생강도(amplitude), 무거운 물건을 드는 경우 등이 있다.<sup>11)12)</sup> 즉 목소리를 높히거나, 크게 하거나 혹은 무거운 물건을 드는 것과 같은 신체에 부하를 가하면 성대진동주기 중에서 닫힘구간이 증가하여 CQ가 증가하

게 된다. 그러므로 EGG검사시에는 낮고 편안한 발성을 하게 하여야 정확한 검사가 가능하다. EGG검사시 측정이 어려운 경우는 경부피하조직이 두꺼운 사람, 성대가 상대적으로 작은 어린이와 여성, 성대에 점액이 묻어 있는 경우, 가성대 발성 등을 들 수 있다.<sup>7)</sup>

EGG검사는 후두생리, 발생 및 음성합성에 대한 연구 이외에 후두질환의 진단과 음성치료에도 유용하다.<sup>16)</sup> 임상적으로는 파라미터를 이용하여 성대결절, 성대마비의 진단에 대한 보고가 있으며, EGG의 파형을 이용한 성대결절 혹은 폴립, 성대마비, 연하장애에 대한 보고도 있다. 그외 발화시 기본주파수의 분포양상을 이용하여 정상과 병적음성을 구별하기도 한다.<sup>16)</sup>

양성과 악성 후두질환의 감별에 많이 이용되는 비침습적인 방법은 음성분석에 의한 방법이다. 음성분석은 후두질환의 특징을 잘 반영할 수 있는 음향학적 파라미터와 이를 적용하는 프로그램의 개발이 동반되어야 가능하



며, 음성분석 파라미터는 음조, 강도 및 소음성분에 대한 것이 대부분이다.<sup>1)2)6)</sup> Kasuya 등<sup>17)</sup>은 잡음분석파라미터를 개발하여 후두암 감별을 시도한 결과 성문암 제 1기의 경우 77.4%, 제 2~4 기 100%, 정상인의 error rate 9.4%의 결과를 보고하였으며, Mashima 등<sup>18)</sup>은 pitch perturbation quotient, amplitude perturbation quotient, 소음의 3개의 파라미터를 조합하여 후두질환을 감별하는 연구를 시행하였다. 왕 등<sup>3)</sup>은 방음실에서 녹음한 음성장애환자의 음성을 이용하여 음성분석프로그램인 Multi-Dimensional Voice Program(Kay Elemetrics Corp. USA)을 통해 얻어진 여러 음향학적파라미터를 정준분석방법을 이용하여 후두암의 감별율이 87%였다고 보고하였고 조 등<sup>1)</sup>은 방음실에서 녹음한 음성을 이용하여 자체 개발한 캡스트럼(cepstrum)파라미터인 Harmonic-to-Noise Ratio : Residual(HNRR)과 기존의 음향학적 파라미터들을 신경회로망을 이용하여 분석하였다. 신경회로망이란 간단하고 많은 처리 요소를 병렬로 상호 연결하여, 학습을 통해 입력 패턴에 내재된 정보를 스스로 찾아내고 처리할 수 있도록 하는 기법으로, 정상과 비정상 감별은 94.5%, 양성 악성 감별은 91.7%이었다고 보고하였다. 그러나 조 등<sup>4)</sup>과 동일한 방법으로 전화기를 이용하여 수집한 음성을 분석한 박<sup>19)</sup>의 보고를 보면 정상을 정상으로 판단하는 경우 78.5%, 비정상을 비정상으로 판단하는 경우 97.1%였으며, 양성질환 82.4%, 악성질환 70.6%의 민감도를 보고하면서 전화기로 녹음한 음성의 낮은 샘플링레이트(sampling rate), 낮은 대역폭 및 열악한 녹음환경이 결과에 지대한 영향을 미친다고 하였다. 잡음이 많이 내재된 음성 즉 후두암의 병기가 말기에 가까울수록 전문의의 경우에는 음성만으로 오히려 쉽게 감별진단이 가능한 반면 기존의 음성분석기기를 이용한 분석은 불가능한 경우가 많다. 이를 해결하기 위해 김<sup>20)</sup>은 음성인식기법에서 흔히 사용되고 있는 파라미터인 MFCC(mel-frequency cepstrum coefficient)와 LPC(linear predictive coefficient)를 이용하여 양성 악성 후두질환의 감별율이 94.7% 였다고 보고하였다. 본 연구에서는 EGG 파라미터 측정치를 이용하여 다층 퍼셉트론(multilayer perceptron)구조의 신경회로망(artificial neural network)으로 감별하는 기법으로 71.3~93%의 후두암의 감별율을 보인 것은 음성분석 방법에 의한 감별과 병용함으로써 보다 정확한 감별이 가능할 것으로 기대된다.

결론적으로 EGG검사를 이용한 양성 악성 후두질환의 감별율은 음성분석 파라미터에 의한 성적보다는 다소 불량하지만, EGG 파라미터로서도 양성 악성 후두질환의 감별의 가능성이 있을 것으로 추정되었다. 향후 성대 질환의 병태생리를 대변할 수 있는 파라미터의 개발이 더욱 필요하며, 분류 알고리즘의 개선이 진행된다면 EGG검사를 이용한 성대질환의 감별 진단이 보다 정확해질 것으로 사료된다.

## 요 약

후두암은 유병율이 높지만 조기에 발견하면 90% 이상의 치유율과 발생기능의 보존이 가능하며 현재 음성분석을 이용한 진단법이 시도되고 있으나 정립된 선별검사법은 없는 실정이다. 성문전도검사(electroglottography, EGG)는 성대의 진동양상을 알 수 있는 비침습적 검사로서 발생과 음성합성의 연구에 많이 사용되고 있다. 본 연구는 EGG에서 관찰되는 파라미터들을 다층 퍼셉트론(multilayer perceptron)구조의 신경회로망(artificial neural network)으로 감별하는 기법을 이용하여 후두암 감별법에 대한 연구로서 부산대학교병원을 내원한 후두암 환자 10명과 양성후두질환자 26명을 대상으로 새로 고안한 Electroglottograph(v1.0)를 이용하여 검사하고 이의 임상적 유용성을 평가하였다.

EGG 파라미터인 closed quotient(CQ), speed quotient(SQ), speed index(SI), fundamental frequency(F0), Jitter, Shimmer 등은 MATLAB 6.5\*(Mathwork, Inc.)로 작성한 분석 프로그램을 이용하여 추출하였다. 각 환자에서 추출된 EGG 파라미터들을 다층 퍼셉트론 구조의 신경회로망으로 감별하였다.

CQ는 각 질환군 간에 유의한 차이가 없었지만 SQ, SI, Jitter, Shimmer 등은 성대질환의 특성에 따라 유의한 차이를 보였다. 신경회로망에서 감별한 결과 CQ를 제외한 SQ, SI, Jitter, Shimmer 등에서 71.3~90%의 후두암의 감별율을 보였다. 또한 SQ, SI, Jitter, Shimmer를 3개씩 조합한 실험에서는 SQ-Jitter-Shimmer와 SQ-SI-Shimmer의 후두암의 감별율이 93%로 가장 높았고, SQ-SI-Jitter 90.9%, SI-Jitter-Shimmer 88.6%로 전체적으로 85% 이상의 높은 감별율을 나타내었다.

이러한 결과는 EGG검사와 신경회로망을 이용한 양성 악성 후두질환의 감별이 가능함을 시사한다. 향후

성대 질환의 병태생리를 대변할 수 있는 파라미터가 추가로 개발되고 분류 알고리즘이 개선된다면 EGG를 이용한 성대질환의 감별 진단이 보다 정확해질 것으로 사료되었다.

**중심 단어** : 후두암 · 성문전도.

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(O2-PJ1-PG10-31401-0005).

## References

- 1) Koike Y, Takahashi H, Calcatera TC : *Acoustic measurements for detecting laryngeal pathology. Acta Otolaryngol.* 1977 ; 85 : 105-117
- 2) Iwata S : *Periodicities of pitch perturbation in normal and pathologic larynges. Laryngoscope.* 1972 ; 82 : 87-96
- 3) Wang SG, Baek MJ, Yang BG, et al : *Acoustic parameters for the early detection and differential diagnosis of pathologic voice. Korean J Otolaryngol.* 1999 ; 42 : 1561-1567
- 4) Jo CW, Wang SG, Yang BG : *A study on the diagnosis of laryngeal diseases by acoustic signal analysis. Korean J Speech Science.* 1999 ; 5 : 151-165
- 5) Lieberman P : *perturbation in vocal pitch. J Acoust Soc Am.* 1961 ; 33 : 597-603
- 6) Hecker MHL, Kreul EJ : *Descriptions of the speech of patients with cancer of the vocal folds. Part 1. Measures of fundamental frequency. J Acoust Soc Am.* 1971 ; 49 : 1275-1282
- 7) Choi HS, Cho JI, Kim KM, Park SS : *Electroglottographic analysis of voice in normal adults. Korean J Otolaryngol.* 1994 ; 37 : 1017-1025
- 8) Slavik DH, McCaffrey TV, Yanagi E : *Effect of superior laryngeal nerve on vocal fold function : An in vivo canine model. Otolaryngol Head Neck Surg.* 1991 ; 105 : 857-863
- 9) Lippman RP : *An introduction to computing with neural nets. IEEE ASSP.* 1987 ; 4 : 4-20
- 10) Van den Berg : *Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. J Speech Hear Res.* 1958 ; 1 : 227-244
- 11) Yang BG : *An analysis of Korean glottal waves by the laryngograph and a perceptual study of synthesized vowels. Language.* 1996 ; 21 (4) : 223-238
- 12) Childers DG, Krishnamurthy AK : *A critical review of electroglottography. Crit Rev Biomed Eng.* 1985 ; 12 : 131-161
- 13) Svec JG, Schutte HK : *Videokymography : high-speed line scanning of vocal fold vibration. J Voice.* 1995 ; 10 : 201-205
- 14) Imagawa H, Kiritani S, Hirose H : *High speed digital image recording system for observing vocal fold vibration using an image sensor. Journal of Medical Electronics and Biological Engineering.* 1987 ; 25 : 284-290
- 15) Fabre MP : *Un procede électrique percutané d'inscription de l'accolement glottique au cours de la phonation : Glottographie de haute fréquence, Premier résultats. Bull Acad Nat Med.* 1957 ; 141 : 66-69
- 16) Fourcin A, Abberton E, Miller D, Howells D : *Laryngography : speech pattern element tools for therapy, training and assessment. European J Disord Com.* 1995 ; 30 : 101-115
- 17) Kasuya H, Ogawa S, Mashima K, Ebihara S : *Normalized noise energy as an acoustic measure to evaluate pathologic voice. J Acoust Soc Am.* 1986 ; 80 (5) : 1329-1334
- 18) Mashima K, Ebihara S, Kasuya H : *Acoustic screening for laryngeal cancer. Jpn J Clin Oncol.* 1987 ; 17 : 41-47
- 19) Park HS : *Acoustic screening test for laryngeal cancer. Korean J Bronchoesophagol.* 2001 ; 7 : 161-167
- 20) Kim YJ : *A development of the discriminative parameter for classification of laryngeal diseases using speech analysis and recognition method. Pusan National University, Graduate school, 2002*