

## 음성장애에 대한 음향학적 중등도 지표\*

## The Acoustic Severity Index in the Pathologic Voice

홍기환\*\* · 김현기\*\* · 양윤수\*\*

Ki Hwan Hong · Hyun Ki Kim · Yoon Soo Yang

## ABSTRACT

**Background** : The perceptual assessment is generally performed by the voice specialist. The objective evaluation is performed in a voice laboratory. Research in voice laboratories has generated a variety of different objective tests and parameters. The perceptual evaluation is one of the most controversial topics in voice research. Review of literature reveals a wide variety of rating scales and reliability data fluctuating from study to study. Unfortunately, there is no widely accepted valid method for classifying voice disorders and assessing outcome after voice treatment. **Objectives** : The goals of this research were to identify important objective acoustic parameters of vocal quality, and to establish an objective and quantitative correlate of the perceived vocal quality. **Materials and Methods** : We evaluated the voice analyzed data from 122 dysphonic patients and 20 normal volunteers. A computerized speech lab. 4300B(CSL) was used to carry out the analysis of each voice sample. **Results** : Three dysphonia severity indices(DSI) were created using discriminant analysis. DSI is based on the weighted combination of the following selected set of acoustic parameters: absolute jitter(Jita in us), smoothed pitch period perturbation (sPPQ in %), amplitude perturbation quotient(APQ in %), soft phonation index(SPI), average fundamental frequency(Fo in Hz), lowest fundamental frequency(Flo in Hz), and smoothed amplitude perturbation quotient(sAPQ in %). The DSI, being the discriminating rule calculated by the logistic regression, consists of three equation based on statistically significant acoustic parameters. Three DSI were created to reflect best the degree of hoarseness as expressed by G from the GRBAS scale. The more positive this DSI is for a patient, the worse the vocal quality. The more it is negative, the better it is. The effect of sex is included implicitly in the DSI-1 and DSI-2, so that a separate DSI-1 and DSI-2 for males and females need not be used. The DSI is objective because no perceptual input is required for its calculation. **Conclusion** : This research demonstrates that the voice function values calculated from three different multivariate objective dysphonia severity indices are significantly associated with subjective voice assessments. These multivariate objective dysphonia severity indices may be appropriate for use in clinical trials and outcomes research on treatment effectiveness for voice disorders.

**keyword**: DSI, APQ, GRBAS

\* Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Institute of Speech Science, Chonbuk National University, Medical School

\*\* 전북대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성과학연구소

## 1. 서론

각종 후두질환에서 가장 흔하고 초기에 나타나는 증상은 음성의 변화이다. 음성장애를 가진 환자의 평가는 병력, 이학적 검사 및 음성 성능의 평가를 통해서 이루어 질 수 있다. 이학적 검사는 주로 성대 및 상기도의 내시경 검사에 의존하여 이루어진다. 음성 성능의 평가는 다차원이어서 주관적인 검사와 객관적인 검사를 모두 포함하여 이루어져야 한다. 주관적인 검사에는 검사자의 청각과 경험으로 음성의 질을 평가하는 청각심리화학적 판단이 이용된다. 그리고 객관적인 검사에는 음성 검사실에서 시행되는 공기역학적 검사, 성대 진동 검사, 음향학적 검사 등이 포함된다. 주관적인 검사방법인 청각심리화학적 판단 방법은 음성언어연구 중에서 가장 논란이 많은 주제중 하나로 현재까지 국제적으로 공인된 객관적이고 타당한 평가방법이 없는 실정이다. 이전의 여러 연구논문을 고찰한 결과 다양한 평가기준과 연구마다 다르게 나타나는 결과가 존재하는 것을 관찰할 수 있었다<sup>1-6)</sup>. 현재 청각심리화학적 평가 방법으로 일본의 음성언어의학회에서 제안된 GRBAS 척도가 전 세계적으로 많이 사용되어지고 있는데<sup>7)</sup>, 일상적으로 사용하기에 적당한 단순성과 짧은 척도를 가지고 있기 때문이다. 그러나 GRBAS 척도는 결과의 다양성이 있다는 단점을 가진다. 즉, 검사자의 배경과 판단의 경험, 환자 병력 인식에 기인한 검사자의 편견과 음성샘플에 따라 다양한 판정이 나올 수 있다는 것이다.

청각심리화학적 판정과 음향학적 측정 결과사이의 연관관계가 다양하게 연구되어 왔다. 대부분의 연구는 jitter, shimmer 또는 harmonics/noise ratio와 같은 독립된 음향학적 변수들과 청각심리화학적 판단 사이의 양적인 관계를 밝히는 데 집중되었다.<sup>10,11)</sup> Wolfe 등<sup>5)</sup>은 음향학적인 변수들 중에서 발성장애의 척도와 연관된 것은 없었고, 또한 어떠한 음향학적 변수의 조합도 음성장애의 정도를 예측할 수 없다고 보고하였다. 그러나 Eskenazi 등<sup>11)</sup>은 pitch amplitude와 harmonics to noise ratio를 이용하여 발성장애의 정도를 예측할 수 있다고 보고하였다. Wuyts 등<sup>12)</sup>은 음향학적 변수와 GRBAS 척도사이의 연관정도를 조사한 결과 GRBAS 각 항목에서 낮은 연관성을 보이는 한 개의 변수에 기초한 음성의 질에 대하여 임상적으로 유용한 결론을 내리는 것은 의미가 없다고 보고하였다. 즉 환자의 음성의 질과 성대의 병적인 상태 그리고 측정방법사이의 모호한 관계로 인해서 임상자들은 환자의 음성을 분석할 때 종종 반대의 결과에 직면하게 된다.

정상과 발성장애의 음성을 구별할 수 있는 index들이 보고 되었다. Piccirillo 등<sup>13)</sup>은 voice range profile(VRP)과 공기역학적 변수를 기초로 한 index를 보고하였으며 Callan 등<sup>14)</sup>은 정상과 비정상 음성을 구별하기 위한 self-organizing map(SOM)의 개념을 도입하였는데 음향학적인 변수의 선택된 변수만을 사용하였고, 공기역학적 또는 VRP 변수들은 포함하지 않았다. 그러나 지금까지 음성의 질을 객관적으로 기술할 수 있는 정립된 의견이 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 음향학적 분석의 결과로 나온 변수를 다변량 통계분석에 적용하여 정상과 병적인 음성을 감별하는 분류기준과 음성의 전체적인 상태를 반영하는 객관적인 음성장애 중등도 지표(Dysphonia Severity Index, DSI)를 만들기 위해 시도되었다. 이러한 지표가 주관적인 음성평가 방법인 청각심리학적 판정과 연관성을 유지하기 위해서 GRBAS 척도에 일치하도록 연구 방향을 설정하였다.

## 2. 대상 및 방법

### 2.1 대상

음성장애를 주소로 내원하여 음성검사를 시행한 환자 122 명(남 58 명, 여 64 명)을 대상으로 하였으며 후두질환이 없는 건강한 남녀 각 20 명을 대조군으로 하였다. 환자군의 평균연령은 45 세이었고, 20 세에서 79 세까지의 연령분포를 보였다. 대조군의 평균연령은 29 세이었고, 23 세에서 43 세까지의 연령분포를 보였다. 본 연구의 피험자 연령층은 20 세 이상으로 한정하였는데, 그 이유는 사춘기의 2 차 성장으로 음성의 변화를 제외하고자 하는 의도에서였다.

### 2.2 음성검사방법

음성 검사는 방음실에서 편안한 자세로 앉게 한 후 마이크 앞에서 15 cm 거리를 두고 가능한 평상시와 같은 높이와 크기로 3 초간 국어모음 /에/를 발성하도록 하였다. 이를 3 회 이상 실시하여 Digital Audiotape Recorder(DAT, DTC-59 ESJ, Sony, Japan)에 녹음한 후 녹음된 음성 중 시작점과 끝점을 제외한 중간부위 1.5 초 길이의 음성을 분석의 대상으로 하였다.

음질의 객관적 분석을 위한 도구로는 Computerized Speech Lab 4300 B(CSL) 기종의 음성 분석 소프트웨어인 Multi-Dimensional Voice Program(MDVP)을 이용하여 총 33 개의 음향학적 변수 중 21 개 변수를 선택해서 통계학적 분석에 사용하였다. 대상군은 G 척도에 따라서 4 그룹으로 분류하였다.

### 2.3 GRBAS 척도

음성의 종합적인 이상도 혹은 애성도를 나타내는 것으로 Grade(G)라는 척도를 사용하며 음성의 이상함의 내용을 나타내는 것으로 조조성(R), 기식성(B), 노력성(S), 무력성(A)의 4가지의 척도를 쓴다. GRBAS의 5 종류의 척도는 모두 0, 1, 2, 3의 4 단계의 판정을 시행한다. G에 대해서 0이라 함은 애성이 없는 상태 즉, 정상이며 3은 가장 애성도가 강한 상태이고, 1과 2는 그 중간이다.

음성의 청각심리학적 기준인 GRBAS 척도의 평정 자는 1 인의 이비인후과 전문의와 2 인의 숙련된 음성언어 치료사로 평균 2년 이상 임상에서 음성장애 환자를 평가, 치료하였던 사람으로 구성하였다. GRBAS 척도 평정은 개별적으로 실시하였으며, 저장된 음성재료를 편집해 내지 않고, 3 초간 연장 발성되는 '에' 전체를 평정 대상으로 하여 전반적인 애성(hoarseness)의 정도를 G 척도로 표시하도록 하였다. 평정자간에 같은 환자를 대상으로 서로 다른 등급의 판정을 한 경우 그 환자에 대해서 재평정을 실시하였다. 이를 통하여, 본래의 등급을 수정하기도 하였으나, 재평정을 실시하여도 같은 결과가 나타난 경우는 합의 판정을 하였다.

### 2.4 통계(Statistics)

G가 대상을 나누는 변수이기 때문에 G 척도와 다른 변수들과의 연관성은 Spearman Rank Correlation Coefficient 분석을 이용하여 계산하였다. 모든 변수들의 결과는 평균치와 표준편차로 나타내었으며 각 평균치들 간의 유의성은 5% 수준에서 Scheff's ANOVA test로 검증하였

다. 음성장애 중등도 지표는 여러 변수를 기초로 두 개 이상의 대상 군을 구별하는데 사용하는 표준방법인 피셔의 비교분석(Fisher's discriminant analysis)과 비슷하게 구성하였다. 또한 로지스틱 회귀분석을 이용한 접근법을 적용했다. 이번 연구에서 청각심리학적 중등도 척도를 다차원적인 측정방법으로 통합하려는 시도이기 때문에 GRBAS 척도의 G(0, 1, 2, 3)로 표현되는 애성의 종합적인 판정은 대상 군을 분류하는데 사용하였다. 다시 말하면, 대상군은 G 척도에 따라서 네 그룹으로 나누었다. 단지 G 척도만을 선택하였던 이유는 G 척도가 청각심리적인 판정척도 중에서 음성의 전체적인 상태를 가장 적절하게 반영하기 때문이었다. 비례상수 로지스틱 회귀분석에 의해서 새로운 환자가 변수의 특별한 형식의 측정값을 기초로 하여 G0에서 G3으로 분류될 수 있는 분류기준이 결정되었다. 통계계산은 Statistical Analysis Software system (SAS Institute Inc, Cary, NC)에 의해서 실행되었다.

음성장애 중등도 지표를 구성하는 변수의 측정오차에 기인한 음성장애 중등도 지표 오차를 검증하기 위하여 음성장애를 호소하지 않는 건강한 성인 6 명을 대상으로 하여 정확성 정도를 검증하였다. 표준편차는 측정방법과 자연발생적인 다양성에 기인한 오차를 반영하기 때문에 각 환자에 대해서 각각의 변수에 대한 표준편차를 계산했다. 그리고 나서 모든 대상에 대해서 표준편차의 평균을 얻음으로서 분류변수에 대한 측정방법에 대한 오차를 얻었다.

## 2.5 결 과

### 2.5.1 음성장애 환자군의 질환분포(Table 1)

음성장애환자 122 레 중에서 성대용종 44 레, 성대결절 22 레, Reinke's 부종 16 레, 성대마비 7 레, 만성후두염 6 레, 성대백반증 5 레, 후두종양 5 레, 경련성발성장애 4 레, 급성후두염 3 레, 성대낭종 3 레, 육아종 3 레, 성대구증 2 레로 나타났다. 질환의 분포는 음성장애를 일으키는 이비인후과 질환의 대부분으로 구성되었다. 환자군의 평균연령은 45 세였고, 연령분포는 20-79 세 이었다. 남성과 여성의 수는 각각 58 명과 64 명이었고, 성별에 따른 분포는 본 연구의 목적이 성별의 차이를 보는 것이 아니었기 때문에 분석하지 않았다.

### 2.5.2 음향학적 분석 결과(Table 2)

음성분석 소프트웨어인 MDVP를 통해서 나오는 33 개의 음향학적 변수 중에서 관찰이 가능했던 21 개의 변수에 대해 평균치, 표준편차, 최소치 및 최대치를 구하였다.

### 2.5.3 정상 군과 음성장애군의 감별에 유의한 음향학적 변수(Table 4)

정상 군과 음성장애 군에 대한 21 개의 음향학적 변수를 비교 분석한 결과 두 군의 감별에 유의한 변수로는 기저주파수( $F_0$ )와 최대기저주파수( $F_{hi}$ )를 제외한 19 개의 변수에서 통계학적으로 의의가 있었다( $p < 0.01$ ). 기저주파수는  $p$ 값이 0.087이었고, 최대기저주파수는  $p$ 값이 0.624 이었다.

### 2.5.4 음향학적 변수와 G척도와의 상관관계(Table 5)

21 개의 음향학적 변수와 G척도와의 상관관계를 Spearman Rank Correlation Coefficient 분석을 이용하여 시행한 결과 최대기저주파수( $F_{hi}$ )와 soft phonation index(SPI)를 제외한 19

개의 변수에서 통계학적으로 유의한 상관성을 보였다( $p < 0.01$ ). 유의한 상관성을 보인 19 개의 변수 중에서 fundamental frequency variation(vFo), smoothed pitch period perturbation (sPPQ), absolute jitter(Jita), jitter percent(Jitt), pitch period perturbation quotient(PPQ), relative average perturbation(RAP), shimmer in decibel(ShdB), shimmer percent(Shim)는 상관계수가 0.70 이상으로 다른 변수에 비해 높은 상관도를 보였다. sPPQ는  $p$ 값이 0.810으로 가장 높은 상관도를 보였다. 기저주파수(Fo)는 정상 군과의 감별에 유의하지는 않았지만 G척도와와의 상관성은 있었다. SPI는 정상 군과의 감별에 유의한 반면 G척도와와의 상관성은 없었다. 최대기저주파수(Fhi)는 정상 군과의 감별과 G척도와와의 상관성 모두에서 통계학적으로 유의하지 않았다.

#### 2.5.5 음성장애 환자군의 G척도에 따른 분류 결과(Table 6)

음성장애환자 군을 G척도에 따라 4 개의 군으로 분류하여 각각의 평균치, 표준편차, 최소치 및 최대치를 구하였다. 4 개의 군 사이를 감별할 수 있는 음향학적 변수를 알아보기 위해 Scheffe's ANOVA test를 이용한 통계분석을 시행하였다. 21 개의 음향학적 변수 중에서 Fo, Fhi, Fftr을 제외한 18 개의 변수에서 1 개 이상의 군간 감별에 유의하였다( $p < 0.05$ ). 이 중에서 Fo-range, STD, Jita, Jitt, PFR, RAP, PPQ, vFo, ShdB, Shimmer, APQ, sAPQ, NHR, VTI는 모든 군 간의 감별에 유의하였다( $p < 0.05$ ). 각각의 음향학적 변수와 G 척도 사이의 상관관계는 Figure 6부터 Figure 26에 나타났다.

#### 2.5.6 음성장애군의 회귀분석 결과

4 개의 음성장애 군을 G0과 G1, G2, G3의 두 군으로 분류한 후 로지스틱 회귀분석을 시행한 결과 두 군을 감별할 수 있는 음향학적 변수로 Jita가 선택되었다. 음성장애 중등도 지표 -1(DSI-1)의 수식은 다음과 같이 구성되었다.

$$DSI-1 = -3.99 + 0.087 \times Jita$$

음성장애 중등도 지표-1에 의한 음성장애군의 평균치와 표준편차는 Table 7에 나타났다. 동시에 음성장애 중등도 지표-1과 애성의 정도와의 관계를 Figure 2에 표현했다. 지표 값이 음의 방향으로 갈수록 정상이고, 반대로 양의 방향으로 커질수록 음질은 더욱 나쁘게 나타났다.

다시 4개의 음성장애 군을 G0, G1과 G2, G3의 두 군으로 분류한 후 로지스틱 회귀분석을 시행한 결과 두 군을 감별할 수 있는 음향학적 변수로 Jita, sPPQ, APQ, 및 SPI가 선택되었다. 음성장애 중등도 지표-2(DSI-2)의 수식은 다음과 같이 구성되었다.

$$DSI-2 = -16.57 + 0.029 \times Jita + 4.278 \times sPPQ \\ + 3.55 \times APQ + 0.126 \times SPI$$

음성장애 중등도 지표-2에 의한 음성장애군의 평균치와 표준편차는 Table 8에 나타났다. 그리고 음성장애 중등도 지표-2와 애성의 정도와의 관계를 Figure 3에 표현했다. 음성장애 중등도

지표-1에서와 같이 음의 방향으로 갈수록 음성의 질은 양호해지고, 반대로 양의 방향으로 갈수록 음성의 질은 악화되는 결과를 나타냈다.

마지막으로 음성장애 군을 G0, G1, G2와 G3의 두 군으로 분류한 후 로지스틱 회귀분석을 시행한 결과 두 군을 감별할 수 있는 음향학적 변수로 Fo, Flo, Jitter 및 sAPQ가 선택되었다. 발성장애 중등도 지표-3(DSI-3)의 수식은 다음과 같이 구성되었다.

$$\text{DSI-3} = -5.26 + 0.083 \times \text{Fo} - 0.114 \times \text{Flo} \\ + 2.723 \times \text{Jitter} + 0.474 \times \text{sAPQ}$$

음성장애 중등도 지표-3에 의한 음성장애군의 평균치와 표준오차는 Table 9에 나타났다. 음성장애 중등도 지표-3과 애성의 정도와의 관계를 Figure 4에 표현했다. 음성장애 중등도 지표-1 및 음성장애 중등도 지표-2에서와 같이 음의 방향으로 갈수록 음성의 질은 양호해지고, 반대로 양의 방향으로 갈수록 음성의 질은 악화되는 결과를 나타냈다.

#### 2.5.7 음성장애 환자군 분류를 위한 흐름도(Figure 5)

위에서 구해진 3 개의 음성장애 중등도 지표를 이용하여 음성장애 군을 분류하는 3 단계의 접근 절차를 고안했다(Figure 5). 제 1 단계에서는 음성장애 중등도 지표-1을 이용하여 지표 값이 0보다 작은 경우 G0 군으로 분류하였고, 지표 값이 0 이상인 경우는 제 2 단계에서 음성장애 중등도 지표-2를 적용하여 0보다 작은 경우 G1 군으로 확정하고 0 이상인 경우는 다시 제 3 단계의 음성장애 중등도 지표-3을 적용하여 0 보다 작은 경우 G2 군으로 확정하고 0 이상인 경우는 G3군으로 분류하도록 하였다.

음성장애 환자 분류를 위한 3 단계의 접근 절차의 정확도 및 타당성을 검증하기 위하여 이를 이용한 분류방법의 결과와 실제로 관찰된 G척도와와의 관계를 Table 10에 나타내었다. 음성장애 환자군 122 례 중 91 레인 74.6%에서 완전한 일치율을 보였다. 그러나 바로 옆 군의 분류를 유의한 것으로 본다면(예, G2로 분류된 것을 G1로 간주하고, 역으로 G1은 G2로 간주함) 분류의 정확도는 99.1%에 이른다. 순수한 무작위 분류를 시행할 경우 확률은 62.5%(=10/16×100)가 된다.

#### 2.5.8 음성장애 중등도 지표의 성별에 따른 차이(Table 11)

대조군의 남성과 여성의 음성장애 중등도 지표의 평균치와 표준오차를 Table 11에 나타내었다. 음성장애 중등도 지표-1과 음성장애 중등도 지표-2에서는 성별에 따른 차이는 통계학적으로 의의가 없었지만 음성장애 중등도 지표-3에서는 성별의 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.01$ ). 음성장애 중등도 지표-3에서의 성별에 따른 차이는 여성에서 기저주파수(Fo)와 최저기저주파수(Flo)의 값이 남성에 비해서 높게 나타나기 때문에 발생한 것으로 사료되었다. 하지만 음성장애 중등도 지표-3의 수식에서 Fo와 Flo의 작용방향이 서로 반대이기 때문에 성별의 차이는 서로 상쇄되어 작아지게 된다. 결과적으로, 음성장애 중등도 지표-3의 지표 값에서 여성이 남성보다 2 정도 낮게 나타난다.

### 3. 고찰

음성의 음향학적 평가는 많은 선행 연구자들에 의해 시도되어 왔다. 음향학적 변수에 대한 연구가 진행되면서 Koike 등<sup>15)</sup>과 Mashima 등<sup>16)</sup>은 몇 가지 변수를 조합하여 후두 질환을 진단할 수 있는 선별 검사를 개발하기 위하여 예비 연구를 발표하기도 하였다. 그러나 과거의 연구는 음향분석기기의 미발달로 음향분석이 어려워져 정성적 비교에 의존하였고, 또한 임상에 적용할 수 있는 소프트웨어나 진단 기기의 개발에 관한 연구가 진행되지 않아서 음성분석이 실제 임상에 실용화되지 못하였다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 병적 음성에 대한 음성 의학적 차원에서의 병적 음성의 수집, 진단 및 분류가 시행되어야 하고, 이를 토대로 검사에 필요한 어음의 선택 및 분석을 위한 음성학적 연구와 더불어 이를 활용할 수 있는 프로그램 및 진단기기의 개발을 위한 음성 공학적 연구가 동반되어야만 가능할 것이다.

Imaizumi 등<sup>17)</sup>은 장애음성에서 나타나는 조조성(roughness)과 기식성(breathiness)을 음향학적인 분석과 청지각적 분석으로 규명함과 동시에 병적인 음성의 음질과 음향학적 측정치와의 상관관계를 연구하였다. 또한 Hammarberg 등<sup>2)</sup>은 long time average spectra의 기저주파수로부터 추출되어진 음향학적 변수와 청지각적 분석과의 상관관계를 연구하였으며, Wolfe 등<sup>18)</sup>은 세 가지 음성유형인 기식성, 조조성 및 애성의 정도를 예측하는데 가장 유용한 음향학적 변수가 NHR(noise to harmonic ratio)라고 하였다. Martine 등<sup>19)</sup>은 조조성이 NHR 과 shimmer로 예측하기 쉽다고 하였으며, Eskenazi 등<sup>11)</sup>은 기식성이 jitter percent와 깊은 연관이 있다고 결론지었다. 이러한 선행 연구들에 의해 음성장애 환자의 음성에 대한 주관적, 객관적 분석이 현재까지 이루어지고 있으나, 대부분의 연구들이 지속모음에만 집중이 되어있다. 이러한 이유로 음성장애 환자들이 실제 대화시 나타나는 음질에 대한 평가는 아주 미미한 상태이다.

발성장애 환자의 음성에 대한 음향학적, 공기역학적 및 voice range 측정은 종종 정상의 범위를 나타내는데<sup>22,24)</sup>, 이러한 현상은 Table 2에서 보여지는 것처럼 정상의 범위가 일반적으로 매우 넓기 때문이다. 따라서 정상으로부터 아주 멀리 떨어진 값만이 임상적인 의도에서는 결정적이라고 생각된다.

음성언어 연구에서 다변량 통계학(multivariate statistics)의 유용성은 Heylen 등<sup>20)</sup>의 연구에서 입증되었다. VRP는 한 개의 측정값으로 쉽게 표현될 수 없는 음성의 세기와 높이의 이차원적인 표시법으로, 이것의 전체적인 모양에 대한 해석이 환자의 발성능력을 평가하기 위한 필수요소로 작용하지만 동시에 임상적 사용을 제한하는 이유가 되기도 한다. 그래서 여러 연구자들은 음성의 세기와 높이의 변화와 같은 선택된 VRP 변수에만 해석에 제한되어져 있었다. 그러나 단지 몇 가지의 뚜렷한 VRP 특징만을 간결한 방법으로 포함하여 정의된 VRP index는 기본주파수와 세기 사이의 상호관계를 평가할 수 있는 이점을 가진다. 또한 분리분석을 이용하면 가중치 합(VRPIc로 정의됨)이 몇 개의 뚜렷한 VRP 특징의 단계적 선택방법을 기초로 하여 만들어지는데, 이렇게 구성된 VRPIc는 어린이에 대해서 정상의 음성과 병적인 음성을 구별하는데 유용하게 사용할 수 있다. VRPIc의 대상평균은 정상과 병적인 음성의 어린이에서 10과 -10으로 각각 정해지기 때문에 VRPIc는 임상적이 어린이의 음성 성능을 정상과 병적인 어린이에 대해 상대적으로 평가할 수 있도록 했다. Index가 음성평가에 적절한 방법이지만 그것의 사용이 어린이와 VRP 측정에만 제한된다는 단점은 있다.

Heylen 등<sup>20)</sup>의 연구와 같이 이번 연구에서도 다차원적인 음성의 특징을 다변량 통계(multivariate statistics)를 이용하여 처리하였다. 그래서 음성장애 중등도 지표가 음성의 청각 심리적인 판정에 일치하도록 하는 객관적인 수단을 제공할 수 있도록 하였다. 음성장애 중등도 지표는 음성의 음향학적 변수 중 Jita, sPPQ, APQ, SPI, Fo, Flo, Jitter 및 sAPQ로 구성된 특별한 가중치 수식으로 구할 수 있게 구성되었다. 이러한 음향학적 변수를 선택하는 과정은 통계학적 분석(stepwise logistic regression procedure)에 의존했다. 따라서 G 척도와와의 상관분석 결과 상대적으로 높은 상관성을 보인 변수가 음성장애 중등도 지표에 반드시 포함되는 것은 아니었다. 발성장애를 가진 환자의 50% 이상에서 성대는 초과된 무게(성대결절, 부종 등)로 피로움을 받게 되는데, 이러한 부가적인 덩어리는 성대를 따라서 이질적으로 분포하면서 성대의 불규칙한 진동을 야기하고, 결국 pitch perturbation의 증가를 나타낸다. 비슷한 기전으로 결절이나 부종 등은 amplitude perturbation의 증가도 가져온다. 따라서 발성장애 환자에서 pitch perturbation 이나 amplitude perturbation은 증가하게 된다.<sup>23)</sup> 발성장애 중등도 지표-1은 음성장애 군에서 정상과 발성장애를 감별할 수 있는 음향학적 변수로 absolute jitter를 선택했다. Absolute jitter는 발성시의 상대진동에 대한 불규칙성을 반영하는 pitch perturbation에 대한 정보를 제공한다.<sup>22)</sup> pitch perturbation을 반영하는 음향학적 지표에는 absolute jitter 이외에도 RAP, PPQ, sPPQ, Jitter가 포함되는데, RAP, PPQ는 absolute jitter에 대한 상대적인 값으로 정상인에서 나타나는 pitch의 시간에 따른 "smooth change"를 배제하고 음성의 떨림에 대하여 기본 진동수의 영향을 줄이기 위해 고안된 음성 지표이다<sup>15)</sup>. 발성장애 중등도 지표-2는 발성장애군중 G0/G1과 G2/G3을 감별하는 변수로 absolute jitter 이외에 sPPQ, APQ, SPI를 선택했다. 이 중 absolute jitter와 sPPQ는 pitch perturbation에 대한 정보를 제공하고, APQ는 amplitude perturbation에 대한 정보를 제공한다.<sup>24)</sup> SPI는 본 연구에서 G 척도와와의 상관관계를 분석한 결과 통계학적 의의가 없었는데, 회귀분석결과에서는 두군 간의 감별에 이용할 수 있는 변수로 선택되었다. 발성장애 중등도 지표-3은 심한 발성장애 환자군인 G3과 다른 발성장애군 환자를 구별하는 변수로 DSI-1과 DSI-2와는 다른 새로운 변수를 선택했다. Fo와 Flo는 기본주파수 정보를 제공하는 것으로 후두에 병변이 있는 경우 기본주파수는 대부분 낮아진다. sAPQ는 amplitude perturbation을 나타내는 것으로 후두병변이 있는 경우 증가하게 된다.<sup>22)</sup> 이상의 결과를 종합해 보면, 전체 33 개의 음향학적 변수 중 음성장애 중등도 지표에 사용된 변수는 7 개로 기본주파수 정보, 장-단기 음도변이(pitch perturbation) 관련 정보, 장-단기 강도변이(amplitude perturbation) 관련 정보, 및 잡음 관련 정보에서 최소 1 개 이상의 변수가 포함되어 있어서 음성의 다차원적인 특징이 잘 반영된 것으로 판단되었다.

음성장애 중등도 지표는 발성장애 군을 분류하는 것 이외에 음질의 상태를 반영할 수 있도록 구성되었다. 즉, 지표 값이 더 음수 쪽으로 가게 되면 환자의 음성은 더욱 양호한 발성장애의 상태로 인정되어지고, 반대로 지표 값이 더 높을수록 음성은 더 심한 발성장애의 상태로 판정할 수 있다. 음성장애 중등도 지표의 측정값이 -7 와 +7 사이의 상태에만 국한되지는 않는다. 때때로 +7 또는 그이상의 값이 나오는 경우가 있는데, 이것은 보통 높은 APQ, jitter 또는 absolute jitter 값으로 일어나는 경우가 많다.

Piccirillo 등<sup>21)</sup>은 vocal function index의 개념을 만들었는데, 주로 정상과 발성장애 음성의 분류에만 중점을 두었다. 또한 회귀분석을 사용하여 성문하압력, airflow at lips, vocal



efficiency와 MPT로 구성된 가중치 수식으로 정상과 병적인 음성의 구별이 가능하다는 것을 밝혀내었다. 이렇게 만들어진 index의 타당성을 검증하기 위해 제한된 음성장애를 가진 33 명의 환자군의 GRBAS 척도와 비교하였다. 그들의 index와 G 척도사이의 연관상수(correlation coefficient)는 0.58로 나타났다. 본 연구에서 고안된 음성장애 중등도 지표와 G 척도 사이의 연관정도를 분석한 결과 각각 0.50, 0.52, 0.55로 나타나 Piccirillo 등<sup>21)</sup>과 비슷한 결과를 나타냈다. 하지만 그들의 연구에서는 음향학적 검사방법이외에 공기역학적 검사 및 VPR와 같은 여러 검사가 사용되었지만 본 연구에서는 음향학적 검사 한 가지만으로 그들의 연구 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 따라서 그들의 Index에 비해서 본 연구의 음성장애 중등도 지표는 한 가지의 음성분석 검사만을 필요하므로 환자에 적용하기에 더 간편하다는 장점이 있다.

병변과 발성장애 사이의 관계를 살펴보면 항상 중증의 병변이 심각한 발성장애를 가져오는 것이 아니기 때문에 분류기준(classification rule)을 위한 지표로서 음성의 청각심리학적인 판정방법을 채택했다. 음성장애 중등도 지표와 청각심리적인 판정으로 분류된 정도를 보여주는 Table 10은 우리가 적용한 방법의 효율성을 보여준다. 본 연구에서는 발성장애 환자군의 74.6% 에서 완전한 일치율을 보였다. 이러한 결과는 Wuyts 등<sup>12)</sup>이 발표한 분류방법의 결과치인 50% 보다 더 정확하였다. 또한 바로 옆의 군을 유의한 것으로 본다면(예, G2로 분류된 것을 G1로 간주하고, 역으로 G1은 G2로 간주함) 분류의 정확도는 99.1% 에 이른다. 순수한 무작위 분류를 시행할 경우 확률은 62.5%(= 10/16×100) 가 된다. 이것은 우리의 분류방법이 단 1 레를 제외한 모든 예에서 청각심리학적 판정과 얼마나 정확하게 일치하는 지를 입증해주는 것이다.

음성장애 중등도 지표 중에서 음성장애 중등도 지표-1과 음성장애 중등도 지표-2는 성별에 따른 차이가 없지만 음성장애 중등도 지표-3에서는 성별에 따른 차이가 존재한다. 음성장애 중등도 지표-3의 성별에 따른 차이는 Fo 와 Flo의 값이 여성에서 남성보다 높게 나타나기 때문에 발생했다. 따라서 음성장애 중등도 지표-1과 음성장애 중등도 지표-2는 남성과 여성에 대한 독립된 음성장애 중등도 지표가 필요하지 않았지만 음성장애 중등도 지표-3에서는 각각의 독립된 수식이 필요하였다. 하지만 음성장애 중등도 지표-3의 수식에서 Fo와 Flo의 작용방향이 서로 반대이어서 성별에 따른 차이는 상쇄되어 작아진다. 결과적으로 Table 11에서 보인 것처럼 남성과 여성의 평균 음성장애 중등도 지표의 측정값 차이는 2 정도로 여성에서 낮게 나타난다. 이러한 차이를 보정하기 위한 성별에 따른 독립된 수식이 필요한 것으로 사료되었다.

환자로부터 임상검사를 시행하고 위에서 언급한 수식으로 음성장애 중등도 지표 값을 계산하는 데는 약 10 분에서 15 분이 소요된다. 이러한 계산을 위해서는 간단한 전자계산기 또는 spreadsheet면 충분하다. 추가적으로 음성장애 중등도를 반영하는 지시자로 음성장애 중등도 지표-3의 지표값(-7과 +7)을 사용함으로써 음성장애 중등도 지표의 임상적 유용성을 증대시킬 수 있다. 이러한 관점들은 음성장애 중등도 지표의 사용의 편리성에 기여하는 장점이 될 수 있다.

음성장애 중등도 지표 I에 사용된 음향학적 변수는 정상에 비해 성대병변을 가진 환자에서 의미 있게 다르기 때문에 개별적으로는 모두 발성장애의 명확한 변수로 간주되어진다. 또한 이러한 음향학적변수들 중에서 음성을 G0에서 G3으로 분류하는 규칙을 구성하기 위한 변수의 선택은 인위적인 선택이 아닌 순수한 통계학적인 과정에 기초를 두어서 음성언어 전문가에 의

해 인식되는 것처럼 발성장애의 정도를 표현할 수 있도록 했다. 이러한 사실을 고려해보면 음성장애 중등도 지표가 본 연구의 목적에 일치하는 것으로 판단할 수 있다. 청각심리적인 판단은 전통적으로 임상과정에서 마지막에 내리는 중요한 결정사항으로 검사실 측정방법에 대해 표준을 제시하기도 한다. 본질적으로 음성장애 중등도 지표의 구성은 청각심리적인 판정에 많이 사용되고 있는 GRBAS 척도 중 전체적인 음성의 음질을 가장 잘 반영하는 G 척도를 기초로 하고 있다.

음성장애 중등도 지표의 발전은 지속성 모음보다는 running speech sample에서 얻은 음향학적인 변수의 사용으로 적절하게 달성할 수 있다. 또한 airflow at lips, 성문하압력 등과 같은 다른 변수도 포함시킬 수 있다. 필연적으로 다수의 음성연구소가 참여하여 수백 명의 환자를 대상으로 한 새로운 발성장애중등도지표의 개발이 필요하다.

본 연구의 결과 정확한 음성평가를 위한 검사방법으로 네 개의 구성성분, 즉 후두경검사, 청각심리적인 판단(GRBAS), 환자 자신에 의한 주관적인 평가 및 음성장애 중등도 지표가 포함되어야 할 것으로 사료되었다. 이러한 네 개의 검사방법은 제한된 시간 안에 과학적으로 타당성을 가지면서 음성을 평가하는데 적절한 과정이라고 생각한다.

음성장애 중등도 지표에 포함된 음향학적 검사방법은 전 세계적으로 널리 보급되어 있어서 대부분의 음성 연구소에서 접근하기 쉬운 것이다. 음성장애 중등도 지표의 유용성과 장점을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 음성장애 중등도 지표는 계산에 필요한 주관적인 판정의 정보가 없기 때문에 객관적인 판정방법이다. 둘째, 음성장애 중등도 지표가 음질의 평가 방법으로서 다차원적이고 객관적인 기준이 될 수 있다. 셋째, 음성장애 중등도 지표는 각각의 환자에게 청각심리적인 판정에 영향을 주는 다른 요소, 시간 및 주관적인 평가에 치우치지 않는 객관적이고 개별적인 치료 자료를 제공할 수 있다. 넷째, 음성장애 중등도 지표는 임상가가 치료에 대해 토론하고 치료효과를 분석하는데 있어서 음성을 절대적인 방법으로 어떤 위치에 놓을 수 있다. 다섯째, 발성장애 환자의 치료 기술 및 수술적 치료의 비교를 가능하게 할 뿐만 아니라 경과관찰의 기간동안 치료의 효율성을 알 수 있게 한다. 이상의 요소들을 종합해보면 음성장애 중등도 지표가 음성장애의 연구와 일상의 임상에서 사용하기에 유용한 것으로 사료되었다.

결론적으로 음성장애 중등도 지표는 음성검사 방법 중에서 비교적 간단하면서 전 세계적으로 널리 보급된 음성 분석을 기초로 하여 구성된 음질의 객관적인 평가방법인 동시에 정상과 병적인 음성의 분류의 기준으로 사용될 수 있다. 또한 음성장애 중등도 지표는 각각의 환자에게 청각심리적인 판정에 영향을 주는 다른 요소, 시간 및 주관적인 평가에 치우치지 않는 객관적이고 개별적인 치료 자료를 제공할 수 있고, 임상가가 치료에 대해 토론하고 치료효과를 분석하는데 있어서 음성을 절대적인 방법으로 어떤 위치에 놓을 수 있고, 환자의 치료 기술 및 수술적 치료의 비교를 가능하게 하고, 경과관찰 기간동안 치료의 효율성에 대해 평가를 가능하게 한다. 결론적으로 음성장애 중등도 지표는 음성 성능의 연구와 일상의 임상에서 사용하기에 간편하면서 유용한 것으로 사료되었다.

#### 4. 요약

정상과 병적인 음성을 감별하기 위한 분류기준과 음질을 평가하는 객관적인 음성장애 중등도 지표의 개발을 위해 시도하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 발성장애 환자의 음향학적 변수 중에서 GRBAS의 G 척도와 상관분석 결과 최대기저 주파수(F<sub>0</sub>)와 soft phonation index(SPI)를 제외한 19 개의 변수에서 통계학적으로 의의가 있었다(p<0.01).

2) 발성장애 군을 G 척도에 따라 분류한 후 각 분류군사이의 감별에 유의한 음향학적 변수로는 F<sub>0</sub>, F<sub>hi</sub>, F<sub>ftr</sub>를 제외한 18 개의 변수로 확인되었다(p<0.05).

3) G 척도에 따른 4 개의 분류군 중에서 G<sub>0</sub>군과 G<sub>1</sub>/G<sub>2</sub>/G<sub>3</sub>군의 사이를 감별할 수 있는 음성장애 중등도 지표-1의 수식은 다음과 같다.

$$DSI-1 = -3.99 + 0.087 \times Jita$$

4) G 척도에 따른 4 개의 분류군 중에서 G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub>군과 G<sub>2</sub>/G<sub>3</sub>군의 사이를 감별할 수 있는 음성장애 중등도 지표-2의 수식은 다음과 같다.

$$DSI-2 = -16.57 + 0.029 \times Jita + 4.278 \times sPPQ \\ + 3.55 \times APQ + 0.126 \times SPI$$

5) G 척도에 따른 4 개의 분류군 중에서 G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub>/G<sub>2</sub>군과 G<sub>3</sub>군의 사이를 감별할 수 있는 음성장애 중등도 지표-3의 수식은 다음과 같다.

$$DSI-3 = -5.26 + 0.083 \times F_0 - 0.114 \times F_{lo} \\ + 2.723 \times Jitter + 0.474 \times sAPQ$$

6) 음성장애 중등도 지표에 따른 분류 결과 음성장애군 환자의 74.6%에서 완전한 일치 보였다.

결론적으로 음성장애 중등도 지표는 발성장애 환자의 분류이외에 음질의 중증도와 밀접한 상관관계가 입증되었다. 즉, 지표 값이 음의 방향으로 갈수록 음질의 상태는 양호하고, 반대로 양의 방향으로 갈수록 음질은 더욱 더 심한 상태로 평가할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Gelfer, M.P., *Perceptual attributes of voice: development and use of rating scales.* Journal of Voice 1988;2:320-6.
- [2] Hammarberg, B., Fritzell, B., Gauffin, J., Sundberg, J., Wedin, L. *Perceptual and acoustic correlates of abnormal voice qualities.* Acta Otolaryngologica 1991;90:441-51.

- [3] Hirano, M. *Clinical examination of voice*. New York: Springer Verlag. 1981.
- [4] Laver, J. *The phonetic description of voice quality*. London: Cambridge University Press. 1980.
- [5] Bassich, C.J., Ludlow, C. *The use of perceptual methods by new clinicians for assessing voice quality*. Journal of Speech and Hearing Research 1986;51:125-33.
- [6] Blaustein, S., Bar, A. *Reliability of perceptual voice assessment*. Journal of Communication Disorder. 1983;16:157-61.
- [7] Hirano, M. *Clinical applications of voice tests. in assessment of speech and voice production*. p.196-203. Rockville, MD: NIDCD.
- [8] Baken, R.J. *Clinical measurement of speech and voice*. London: Taylor & Francis Ltd. 1987.
- [9] Rabinov, C.R., Kreiman, J., Gerratt, B.R., Bilamowics. S. *Comparing reliability of perceptual ratings roughness and acoustic measurements of jitter*. Journal of Speech and Hearing Research 1995;38:26-32.
- [10] Askenfeld. A.G., Hammarberg, B. *Speech waveform perturbation analysis: a perceptual-acoustical comparison of seven measures*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research 1986;26:50-64.
- [11] Eskenazi, L, Childers, D.G., Hicks, D.M. *Acoustic correlates of vocal quality*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research Jun 1990;33:98-306.
- [12] Wuyts, F.I., DeBolt, Ms, Molenbergs, G., et al. *The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research Jun 2000;43:796-809.
- [13] Piccirillo, J.F., Painter, C., Fuller, D., Fredrickson, J.M. *Multivariate analysis of objective vocal function*. Annals of Otolaryngology Rhinology Laryngology 1998;107:107-112.
- [14] Callnan, D.E., Kent, R.D., Roy, N., Tasko, S.M. *Self-organizing map ofr the classification of normal and disordered female voices*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research Jun 1999;42:355-66.
- [15] Koike, Y., Takhashi. H., Calcaterra. T.C. *Acoustic measurements for detecting laryngeal pathology*. Acta Otolaryngol 1977;85:105-17.
- [16] Mashima, K., Ebihara, S., Kasuya, H. *Acoustic screening for laryngeal cancer*. Jpn J Clin Oncol 1987;17:41-7.
- [17] Imaizumi, S., Hiki, S., Hirano. M., et al. *Analysis of pathological voices with a sound spectrograph*. J Acoust Soc Jpn 1980;30:9-16.
- [18] Wolfe, V., Fitch, J., Martin, D. *Acoustic measures of dysphonic severity across and type*. Folia Phoniatr Logop 1997;49:292-9.
- [19] Martin, D., Fitch, J., Wolfe, V. *Pathologic voice type and the acoustic prediction of severity*. J Speech Hearing Research 1995;38:765-71.
- [20] Heylen, L., Wuyts, F.L., Mertens, F., Debolt, M., Pattyn, J., Croux, C., Van de Heyning P. *Evaluation of the vocal performance of children using a voice range profile index*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research Jun 1998;41:232-8.
- [21] Piccirillo, J.F., Painter, C., Fuller, D., Haiduk, A., Fredrickson, J.M. *Assessment of two objective voice function indices*. Annals of Otolaryngology Rhinology Laryngology 1998;107:396-400.
- [22] Wang, S.G., Moon, M.J., Yang, B.G., Jo, C.W., Park, H.M., Kwon, S.B., et al. *Acoustic parameters for the early detection and differential diagnosis of pathologic voice*. Korean J Otolaryngol 1999;42:1561-7.

- [23] Kim, H.T., Cho, S.H., Youn, S.M., Sun, D.I., Kim, M.S. *The changes and characteristics of acoustic parameters with aging in korean*. Korean J Otolaryngol 2000;43:69-74.
- [24] Pyo, H.Y., Sim, H.S., Lim, S.E. *The change of the correlation between GRBAS scales and MDVP parameters according to the different length of voice samples for MDVP analysis*. Korean J of Speech Language 2000;7(2):71-80.

접수일자 : 2003. 11. 15.

게재결정 : 2003. 12. 20.

▲ 홍기환

전북 전주시 금암동 산 2-20 (우: 560-182)  
전북대학교 의과대학 이비인후과학교실  
TEL: +82-63-250-1990 FAX: +82-63-250-1986  
E-mail: khhong@moak.chonbuk.ac.kr

▲ 김민기

전북 전주시 금암동 산 2-20 (우: 560-182)  
전북대학교 음성과학 연구소  
TEL: +82-63-250-1990 FAX: +82-63-250-1986  
E-mail: hyungk@moak.chonbuk.ac.kr

▲ 양윤수

전북 전주시 금암동 산 2-20 (우: 560-182)  
전북대학교 의과대학 이비인후과교실  
TEL: +82-63-250-1990 FAX: +82-63-250-1986

Table 1. Distribution of voice disorders

Vocal polyp	44
Vocal nodule	22
Reinke's edema	16
Vocal cord palsy	7
Chronic laryngitis	6
Leukoplakia	5
Spasmodic dysphonia	4
Tumor	5
Acute laryngitis	3
Intracordal cyst	3
Granuloma	3
Sulcus vocalis	2
Glottic web	1
Vocal cord atrophy	1
Control	20
Total	144

Table 2. Statistically significant parameters between normal and dysphonic groups by ANOVA

	Fo	Fhi	Flo	Fra	STD	Fftr	PFR	JIta	Jitt	RAP	PPQ
p	0.087	0.624	0.001**	<0.0001**	<0.0001**	0.008**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**
	sPPQ	vFo	ShdB	Shim	APQ	sAPQ	vAm	NHR	VTI	SPI	
p	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	0.001***	

\* : Significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* : Significant at the 0.01 level (2-tailed).

Table 3. Spearman Rank Correlation coefficients(p) between G and acoustic measurements.

	Fo	Fhi	Flo	Fra	STD	Fftr	PFR	JIta	Jitt	RAP	PPQ	sPPQ
p	-0.27**	-0.11	-0.39**	0.47**	0.58**	0.25**	0.675**	0.797**	0.762**	0.748**	0.763**	0.810**
	vFo	ShdB	Shim	APQ	sAPQ	vAm	NHR	VTI	SPI			
p	0.802**	0.714**	0.71**	0.721**	0.606**	0.343**	0.432**	0.336**	0.033			

\* : Significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* : Significant at the 0.01 level (2-tailed).

Table 4. Descriptive data on the acoustic variables for the grade and control groups.

Subjects	Fo(Hz)				Phi(Hz)				Flo(Hz)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	188.1	38.3	104.6	235.1	196.1	40.6	106.8	245.9	181.0	36.0	102.8	225.9
Grade 1	174.7	43.0	88.7	275.9	185.0	48.6	93.0	291.4	165.5	39.3	86.5	256.8
Grade 2	165.5	55.7	69.0	335.3	178.1	63.7	73.7	388.4	153.4	48.6	66.6	271.2
Grade 3	150.8	46.3	77.2	289.7	178.5	53.8	85.7	321.5	130.0	43.3	66.7	268.3
Control	165.8	47.3	112.9	245.8	170.0	48.8	115.1	248.1	161.3	45.9	110.7	243.2

Subjects	Fo-range(hz)				STD(Hz)				Fftr(Hz)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	15.10	6.78	3.98	29.15	1.90	0.71	0.67	3.68	4.13	1.59	2.05	8.33
Grade 1	19.51	16.20	4.38	96.12	2.64	1.06	0.82	5.34	4.09	2.14	2.07	10.25
Grade 2	24.71	23.28	6.36	117.12	3.65	2.13	1.25	9.56	5.07	2.45	2.19	11.42
Grade 3	48.50	36.33	11.9	147.20	7.32	6.79	1.89	24.68	5.95	3.10	2.04	11.42
Control	8.78	5.22	3.18	23.51	1.33	0.53	0.57	2.54	3.90	1.50	2.11	7.01

Subjects	PFR				Jlta(us)				Jitt(%)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	2.25	0.44	2	3	42.01	18.79	19.72	80.74	0.76	0.30	0.28	1.51
Grade 1	2.75	1.16	1	8	78.46	30.47	30.84	162.58	1.36	0.57	0.29	2.72
Grade 2	3.38	1.56	2	10	126.07	50.06	42.04	274.33	1.93	0.66	0.70	3.12
Grade 3	6.55	4.23	2	21	305.49	288.77	2.75	478.30	4.28	4.25	1.24	20.84
Control	1.76	0.44	1	2	32.36	12.49	8.91	57.05	0.51	0.21	0.21	1.05

Subjects	RAP(%)				PPQ(%)				sPPQ(%)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	0.45	0.18	0.15	0.90	0.44	0.17	0.16	0.87	0.56	0.13	0.38	0.87
Grade 1	0.82	0.35	0.14	1.59	0.79	0.35	0.16	1.73	0.95	0.28	0.50	1.70
Grade 2	1.15	0.41	0.35	1.87	1.15	0.39	0.43	1.86	1.35	0.34	0.58	1.91
Grade 3	2.52	2.48	0.69	12.52	2.56	2.76	0.70	13.14	3.29	2.92	0.99	12.57
Control	0.29	0.12	0.13	0.63	0.30	0.12	0.12	0.59	0.48	0.14	0.23	0.77

Table 4. Continued.

Subjects	vFo(%)				ShdB(dB)				Shim(%)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	1.00	0.32	0.64	2.01	0.15	0.04	0.08	0.30	1.78	0.57	0.93	3.45
Grade 1	1.44	0.36	0.72	2.22	0.16	0.06	0.07	0.43	1.84	0.83	0.08	5.08
Grade 2	2.15	0.95	0.92	5.92	0.27	0.19	0.10	1.25	3.10	2.08	1.19	13.31
Grade 3	5.01	4.96	1.55	24.06	0.80	0.29	0.35	1.60	8.78	8.70	1.79	41.0
Control	0.82	0.29	0.35	1.60	0.12	0.03	0.06	0.19	1.45	0.45	0.77	2.29

Subjects	APQ(%)				sAPQ(%)				vAm(%)			
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Grade 0	1.28	0.39	0.74	2.33	2.37	0.94	1.15	4.91	9.65	4.31	3.20	19.32
Grade 1	1.38	0.52	0.64	3.50	2.57	0.84	1.04	5.50	11.07	4.67	3.71	23.05
Grade 2	2.25	1.40	0.92	9.06	3.68	2.03	1.77	10.90	14.71	7.73	3.76	37.97
Grade 3	6.11	5.57	1.48	27.7	8.09	5.87	2.12	26.24	16.85	9.22	7.06	39.84
Control	1.08	0.27	0.57	1.53	2.12	0.51	1.29	3.35	6.69	2.04	3.97	10.00

Subjects	NHR				VTI				SPI				
	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	N
Grade 0	0.10	0.03	0.06	0.14	0.03	0.01	0.02	0.06	16.24	8.57	3.97	32.96	21
Grade 1	0.11	0.01	0.04	0.15	0.03	0.01	0.01	0.05	22.64	11.28	5.59	51.00	30
Grade 2	0.11	0.03	0.06	0.21	0.04	0.01	0.00	0.09	25.99	12.76	4.08	47.90	40
Grade 3	0.20	0.12	0.09	0.55	0.06	0.03	0.02	0.22	19.11	11.83	6.40	51.02	31
Control	0.11	0.02	0.05	0.15	0.03	0.01	0.01	0.05	14.20	8.18	5.69	38.46	20

Table 5. Average of the DSI values for the subjects characterized by G<sub>0</sub> to G<sub>3</sub> score.

G score	DSI-1	DSI-2	DSI-3
G <sub>0</sub>	-0.35(0.34)	-6.46(0.45)	-7.38(0.27)
G <sub>1</sub>	2.83(0.48)	-2.59(0.48)	-5.03(0.23)
G <sub>2</sub>	6.97(0.68)	4.01(3.90)	-2.35(0.30)
G <sub>3</sub>	22.58(4.51)	30.09(6.81)	7.56(2.60)

$$\text{DSI-1} = -3.99 + 0.087 \times \text{Jita}$$

$$\text{DSI-2} = -16.57 + 0.029 \times \text{Jita} + 4.278 \times \text{sPPQ} + 3.55 \times \text{APQ} + 0.126 \times \text{SPI}$$

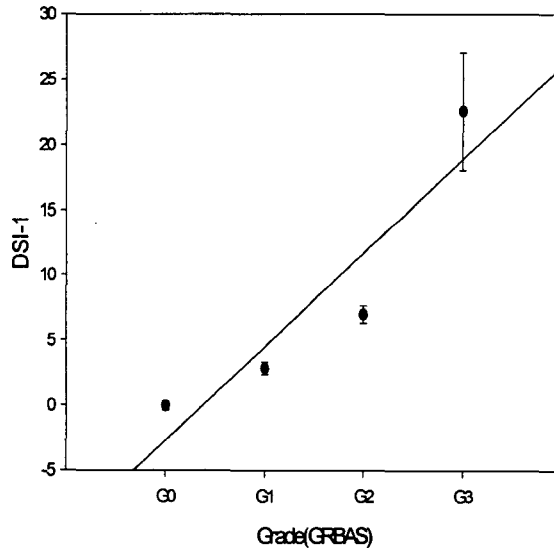
$$\text{DSI-3} = -5.26 + 0.083 \times \text{Fo} - 0.114 \times \text{Flo} + 2.723 \times \text{Jitter} + 0.474 \times \text{sAPQ}$$

\* Numbers in blanket stand for standard error of the mean



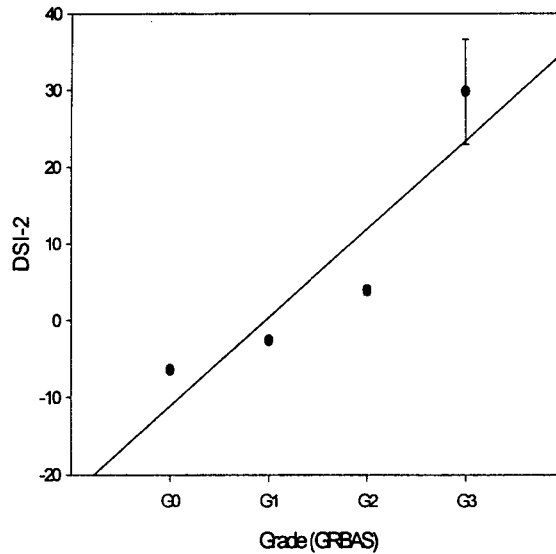
Table 6. Classification table of observed and predicted class membership, indicating the power of the proportional odds logistic regression calculation.

		Observed				Total
		G0	G1	G2	G3	
Predicted	G0	13	3	1	0	17
	G1	8	23	4	0	35
	G2	0	4	32	8	44
	G3	0	0	3	23	26
Total	21	30	40	31	122	



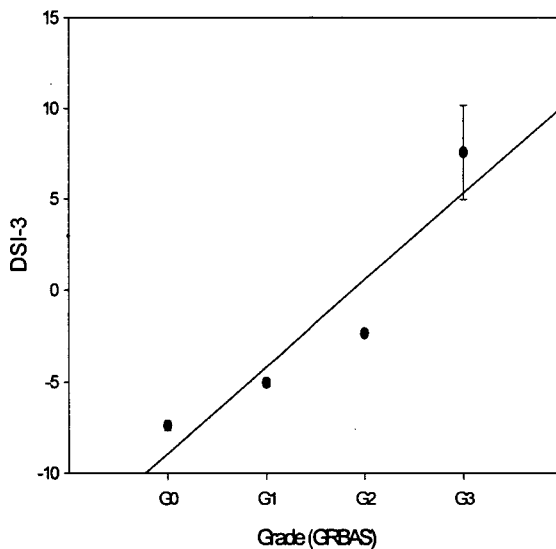
$$DSI-1 = -3.99 + 0.087 \times \text{Jita}$$

Figure 1. Dysphonia Severity Index-1 (DSI-1) versus Grade of hoarseness defined in the GRBAS scale.



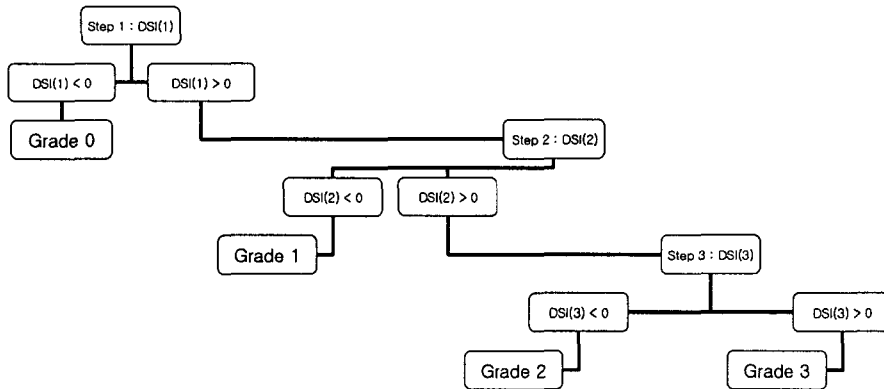
$$\text{DSI-2} = -16.57 + 0.029 \times \text{Jita} + 4.278 \times \text{sPPQ} + 3.55 \times \text{APQ} + 0.126 \times \text{SPI}$$

Figure 2. Dysphonia Severity Index-2 (DSI-2) versus Grade of hoarseness defined in the GRBAS scale.



$$\text{DSI-3} = -5.26 + 0.083 \times \text{Fo} - 0.114 \times \text{Flo} + 2.723 \times \text{Jitter} + 0.474 \times \text{sAPQ}$$

Figure 3. Dysphonia Severity Index-3 (DSI-3) versus Grade of hoarseness defined in the GRBAS scale.



$$DSI(1) : -3.99 + 0.087 \times Jita$$

$$DSI(2) : -16.57 + 0.029 \times Jita + 4.278 \times sPPQ + 3.55 \times APQ + 0.126 \times SPI$$

$$DSI(3) : -5.26 + 0.083 \times Fo - 0.114 \times Fo\text{-low} + 2.723 \times Jitter + 0.474 \times sAPQ$$

Figure 4. Test procedure for classification of dysphonia groups.