

연축성 발성장애 환자의 음향학적 및 공기역학적 양상

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소
최홍식 · 이주환 · 김인섭 · 고윤우 · 오종석 · 배정호 · 윤현철 · 최성희

= Abstract =

The Acoustic and Aerodynamic Aspects of Patients with Spasmodic Dysphonia

Hong-Shik Choi, M.D., Joo-Hwan Lee, M.D., In-Sup Kim, M.D.,
Yoon Woo Koh, M.D., Jong Seok Oh, M.D., Jung Ho Bae, M.D.,
Hyun Chul Yoon, M.D., Seong Hee Choi, M.P.H.

*Department of Otorhinolaryngology, The Institute of Logopedics and Phoniatrics,
Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Background and Objectives : The etiology and pathophysiology of spasmodic dysphonia is yet unknown. This study was performed to determine if any laryngeal aerodynamic parameter distinguish the voice of patient diagnosed as having adductor spasmodic dysphonia from individuals with normal voice production and to investigate the pathophysiology of spasmodic dysphonia.

Materials and Methods : Fifteen women diagnosed as having adductor spasmodic dysphonia and fifteen normal control women participated in this study. Maximum phonation time, mean air flow rate, subglottic pressure, vocal efficiency, Vfo, NHR, VTI, FTRI, ATRI, Jitter percent, Shimmer percent were obtained from the participants using 'MDVP(multi-dimensional voice program)' of CSL(Computerized Speech Lab, Kay Elemetrics, Co., Model No. 4300) and 'maximum sustained phonation' and 'IPIPI test' of AP II(Aerophone II, Kay Elemetrics, Co., Model 6800).

Results : T-test statistical analysis revealed statistically different values for vocal efficiency, Vfo, NHR, MPT, Jitter percent, Shimmer percent between the spasmodic dysphonia group and the control group.

Conclusions : Spasmodic dysphonia affects the ability of the laryngeal mechanism to function effectively. Results from our study demonstrate that certain aerodynamic and acoustic parameters distinguish adductor spasmodic dysphonia from normal voice.

KEY WORDS : Spasmodic dysphonia · Aerodynamic measures · Acoustic measures · Vocal efficiency.

논문접수일 : 2000년 5월 16일

심사완료일 : 2000년 5월 26일

책임저자 : 최홍식, 135-270 서울 강남구 도곡동 146-92

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소

전화 : (02) 3497-3461 · 전송 : (02) 3463-4750 E-mail : hschoi@yumc.yonsei.ac.kr

서 론

연축성 발성장애(Spasmodic dysphonia)는 후두에 국한적으로 발생한 근긴장이상증으로 후두근육의 불수의적인 수축으로 인하여 초래되는 발성장애이다.¹⁾ 아직까지 그 원인을 정확히 밝혀내지 못하고 있으며 과거에는 경직성 발성장애(spastic dysphonia)라고 불리어 왔으나, 실제로 이 병을 가지고 있는 환자에서는 신경의 신경핵 상부의 병변에 의한 근육의 경직성(rigidity or spasticity)은 잘 볼 수 없고 근전도 검사상 추체장애와는 차이가 있으므로, 연축성(spasmodic)이라는 표현이 더 적절하다고 한다.²⁾ 연축성 발성장애는 세 종류로 나뉘어지는데, 성대의 불수의적인 과내전(hyperadduction)에 의해 수시로 음성이 끊어지고 목을 조이는 듯한 거친 목소리가 나타나는 내전형(adductor type)과 성대의 불수의적인 과외전(hyperabduction)에 의해 간헐적으로 바람이 새는 듯한 흰 목소리를 나타내는 외전형(abductor type) 그리고 혼합형(mixed type)으로 구분된다.³⁾ 대부분의 환자가 내전형에 속하며, 내전형 연축성 발성장애는 발성시 성대가 너무 강하게 내전되어서 원활한 발성이 잘 안되고 음성의 크기를 조절하는데 어려움을 느끼며, pitch의 편향, hoarseness, strain을 가지는 질환이다.⁴⁾

현재까지 이 병의 치료방법으로 사용되어 오고 있는 것으로는 언어치료(voice therapy), 보툴리눔 독소주입술(botulinum toxin injection), 편측 반회후두신경절단술(recurrent laryngeal nerve section),⁵⁾ 반회후두신경분쇄술(recurrent laryngeal nerve crush), 상후두신경절단술(transection of superior laryngeal nerve), 갑상연골성형술(anterior laryngoplasty), 삽입자극기(implantable stimulator) 등이 있다.

Woodson⁶⁾에 의하면 공기역학적 검사와 음향학적 검사는 연축성 발성장애의 진단에 있어서는 불충분하나 기능상태를 나타내는 중요한 지표로 유용하다. Buchman 등⁷⁾은 연축성 발성장애 환자에 있어 보툴리눔 독소주입술과 침술 시행전의 음향학적 검사(jitter percent, shimmer percent, noise to harmonic ratio)를 연구한바 있으며 Zwirner 등⁸⁾도 보툴리눔 독소주입술 시행전의 환자와 정상대조군에 있어 공기역학적 검사와 음향학적 검사를 시행하여 이를 비교한 연구를 시행하

였다. 우리나라에 있어서도 최 등^{9,10)}이 연축성 발성장애 환자에 있어서 보툴리눔 독소주입술 시행전의 음성인지적 검사를 시행한바 있으나 vocal efficiency를 포함하는 공기역학적 검사와 음향학적 검사에 대한 연구는 시행되지 않았다.

이에 저자 등은 정상대조군과 연축성 발성장애 환자에 있어서 후두 공기역학적 양상을 조사, 비교하여 연축성 발성장애의 병태생리와 음성학적 특성을 규명하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 환 자

검사의 대상이 된 환자 군은 15명의 여성 연축성 발성장애 환자(나이 : 22~35세)로 모두 신경질환, 정신질환, 구음장애 등의 병력이 없었고 수술적 치료나 이전에 보툴리눔독소 성대내 주입술을 시행받지 않은 사람으로 언어 병리사와 이비인후과 전문의에 의해 videolaryngoscopy 또는 videostroboscopic examination을 이용해 내전형 연축성 발성장애로 진단받은 환자이며 정상대조군은 모두 15명의 여성으로(나이 : 21~33세) 병적인 성대 형태와 기능장애가 없는 사람을 대상으로 하였다.

2. 검사방법

AP II(Aerophone II, Kay Elemetrics, Co., Model 6800)의 'IPIPI test'를 이용하여 정상대조군과 연축성 발성장애 환자 군에서 /이피피(ipipi)/를 평상시에 내는 것과 같은 높이와 크기, 작은 높이와 크기, 큰 높이와 크기에서 각각 발성하게 하여 mean airflow rate, subglottic pressure, mean air pressure, mean pow-



Fig. 1. Silicone tube mask with pressure sensor.

er, vocal efficiency의 값을 각각 측정하였다. 측정을 위해서는 압력감지 센서가 부착되어 있는 실리콘 튜브가 사용되었다(Fig. 1). 마스크 안에 이 튜브를 삽입한 후 마스크를 얼굴에 밀착시키도록 하면서 센서가 부착되어 있는 튜브의 끝 부분이 입안의 가운데 빈 공간에 위치해 있도록 하였다(Fig. 2). 그 후, 정상시의 발음으로 /이피피/를 약 1초간의 간격을 두어 발화하도록 하였으며, 이는 각 발성법마다(작은 높이와 크기, 정상높이와 크기, 큰 높이와 크기) 2회씩 실시되었다. Maximum sustained phonation 검사시에는 같은 기기를 이용하여 숨을 충분히 들이마신 후 마스크를 얼굴에 밀착시키고 /아/를 최대한 길게 발성하도록 하였는데, 이는 동일한 방법으로 시행하였다. Fundamental frequency, noise to harmonic ratio(NHR), voice turbulence index(VTI), jitter, shimmer의 측정을 위하여 CSL(Computerized Speech Lab, Kay Elemetrics, Co., Model No. 4300)의 'MDVP(Multidimensional Voice



Fig. 2. Measurement of aerodynamic parameters using 'IPIPI' test of AerioPhone II.

Program)'을 이용하였다. 모든 대상의 자료를 얻는 과정은 모두 조용한 방에서 편한 자세로 앉은 상태에서 실시하였다.

3. 분석 방법

음향학적 측면의 분석 중 음질에 대한 분석은 CSL의 MDVP의 자체 분석 프로그램을 이용하여 이루어졌다. 분석을 통하여 발성법이 나타내는 기본 주파수에 대한 표준편차(standard deviation of fundamental frequency, VFO)와, 음도 변이율을 나타내는 jitter, 강도 변이를 나타내는 shimmer, 그리고 정상음-잡음 비율을 나타내는 NHR, VTI를 측정할 수 있었다.

Aerophone II의 maximum sustained phonation 검사를 통하여 발성시의 공기사용 측면을 분석하였다. 이를 위하여 채취된 발화 중 가장 지속시간이 길었던 시기의 발화를 선택하여 분석하였는데, 이때 자체 분석 프로그램을 통하여 최장발성지속시간(maximum phonation time, MPT)을 측정하였다. 그리고, Aerophone II의 'IPIPI test'에서 자체 분석 프로그램을 통하여 각 발성시에 나타나는 평균 성문하압(mean subglottic pressure), 평균 호기류율(mean flow rate, MFR), 측정된 음의 강도(mean power), 평균 발성효율(mean vocal efficiency), 평균압(mean air pressure, MAP)을 각각 측정하였다.

4. 통계학적 분석

각각의 시도에 대한 연속성 발성장애 환자 군과 정상인군의 평균과 표준편차를 구하였다. Paired t-test를 이용하여 연속성 발성장애 환자 군과 정상인군의 독립된 변수간의 차이를 구하였고 유의수준은 95%로

Table 1. Aerodynamic and acoustic dependent measures using normal loudness /ipipi/

	Mean flow rate l/sec	Subglottic pressure cmH ₂ O	Mean power watt	Vocal efficiency ppm
Spasmodic group	0.094	2.74	0.029	14.93*
Control group	0.097	2.35	0.042	98.25*

*p<0.05

Table 2. Aerodynamic and acoustic dependent measures using soft loudness /ipipi/

	Mean flow rate l/sec	Subglottic pressure cmH ₂ O	Mean power watt	Vocal efficiency ppm
Spasmodic group	0.078	2.14	0.018	35.06
Control group	0.090	1.71	0.016	64.80

*p<0.05

하여 검증하였다.

결 과

정상크기의 /이피피/ 발성시의 MFR, MAP, mean power, vocal efficiency의 AP II 분석에 의한 음질 비교결과, 여기서 분석된 연속성 발성장애 환자의 MFR, MAP, mean power는 정상인 군과 의미 있는 차이를 보이지 않았으나 정상인군의 vocal efficiency는 연속성 발성장애 환자군의 것보다 통계학적으로 유의 있게 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$, Table 1).

적은 크기의 /이피피/ 발성시의 MFR, MAP, mean power, vocal efficiency의 AP II 분석에 의한 음질 비교에서는 분석된 MFR, MAP, mean power는 양군에서 모두 정상크기의 /이피피/ 발성시의 수치보다 낮은 수치를 보였다. 여기서 분석된 연속성 발성장애 환자의 MFR, MAP, mean power, vocal efficiency 모두 정상인 군과 의미 있는 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$, Table 2). 여기서 특이할만한 결과는 적은 크기에서의 연속성 발성장애 환자군의 vocal efficiency가 정상 크기에서의 vocal efficiency보다 높으며 정상인군의 vocal efficiency와 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다는 것이다. 이는 아마도 연속성 발성장애 환자가 증상 경감을 위하여 작은 크기의 목소리를 사용하는 것⁶⁾과 임상 연관시킬 수 있을 것이다.

큰 크기의 /이피피/ 발성시의 MFR, MAP, mean power, vocal efficiency의 Aerophone II 분석에 의한 음질 비교에서는 MFR, MAP, mean power, vocal efficiency 정상인 군과 연속성 발성장애군 모두 정상크기의 /이피피/의 결과보다 높은 수치를 보였다. 여

기서 분석된 연속성 발성장애 환자의 MFR, MAP, mean power는 정상 크기의 분석결과와 같이 정상인 군과 의미 있는 차이를 보이지 않았으나($p > 0.05$) 정상인군의 vocal efficiency는 연속성 발성장애 환자군의 것보다 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$, Table 3).

정상인 군과 연속성 발성장애군에서의 'MDVP'를 이용한 공기역학적, 음성학적 분석 결과에서는 분석된 연속성 발성장애의 MPT가 평균 15.08초이었고, 정상인 군은 평균 20.30초로 정상인 군에서 긴 수치를 보였으나 통계학적으로 의미 없었다($p > 0.05$). 음의 strainedness를 나타내는 지표인 VFO와 음의 roughness를 나타내는 지표인 NHR의 경우 연속성 발성장애의 경우 각각 18.32, 0.2523으로 정상인군의 1.24, 0.1244 보다 의미 있는 높은 수치를 보였다($p < 0.05$). VTI의 경우는 두 군간의 의미 있는 차이를 보이지는 않았다($p > 0.05$). 음의 harshness를 나타내는 지표인 주파수의 안정성을 나타내는 jitter percent와 강도의 안정성을 나타내는 shimmer percent의 경우 연속성 발성장애군에서 정상인군 보다 높은 수치를 보였다($p < 0.05$, Table 4).

고 찰

1871년 Traube¹²⁾에 의해 처음 기술된 연속성 발성장애는 현재 신경과 질환 중 운동장애군(movement disorder)에 속하는 질병으로 분류되며, 특히 국소적 근긴장이상(focal dystonia)의 일종으로 취급되고 있다. 이 병의 원인은 아직 확실히 밝혀져 있지 않으며, 특발성인 것이 대부분이나, 윌슨씨병(Wilson's disease), 헌팅턴씨병(Huntington's disease), 파킨슨씨병(Parkinson's disease), 또는 외상이나 염증에 의하여

Table 3. Aerodynamic and acoustic dependent measures using high loudness /ipipi/

	Mean flow rate l/sec	Subglottic pressure cmH ₂ O	Mean power watt	Vocal efficiency ppm
Spasmodic group	0.096	3.23	0.031	31.98*
Control group	0.160	3.81	0.098	295.58*

* $p < 0.05$

Table 4. Aerodynamic and acoustic dependent measures using multidimensional voice program(MDVP)

	MPT sec	VFO %	NHR	VTI	FTRI %	Jitter %	Shimmer %
Spasmodic group	15.08	18.32*	0.252*	0.047	4.93	3.83*	9.47*
Control group	20.30	1.24*	0.124*	0.036	0.38	0.74*	3.34*

* $p < 0.05$

발병된다는 보고도 있다.

이 병을 진단하기 위해서는 환자의 음성을 자세히 들어서 말을 시작하기 힘든지, 말을 하는 중에 음성의 단절이 있는지, 음성의 심한 떨림 등의 증상들이 있는지를 알아보는 것이 가장 기본이며, 청각심리 검사상 strained성분의 정도를 측정하고 음성 단절의 유무도 확인하는 것이 좋다. 한편 후두에 대한 이학적 검사로는 거울을 사용하는 간접후두경술이나 90도나 70도의 경성망원후두경술(rigid telelaryngoscope) 보다는 연성후두경술(flexible fiberoptic laryngoscopy)을 사용하여 관찰하는 것이, 보다 자연적인 상태에서 관찰할 수 있으므로 불수의적인 후두나 인두근의 수축이나 경련을 관찰하기 용이하다. 또, 혹시 있을지 모를 뇌나 뇌간의 이상을 확인하기 위하여 뇌의 MRI 촬영과 다른 신경과적인 이상을 배제하기 위하여 신경과와의 협조 진찰이 필수적이다. 또한 후두의 근전도검사를 실시해 볼 수도 있다.

다른 진단적 검사인 실험적 공기 역학적 검사에서 내전형 연속성 발성장애의 특징은 long time average spectrum,²⁾ vocal jitter, maximum phonation time,²⁾ voice break factor,¹³⁾ 그리고 고유 후두근육의 근전도 활동¹³⁾을 가지는 것으로 되어 있다. Woo,⁴⁾ Christine 등¹³⁾에 의하면 연속성 발성장애 환자에 있어서 aerodynamic study상 mean phonatory airflow rate, subglottic pressure가 증가되어 있고 phonation time이 감소되어 있다는 보고가 있다. 일반적으로 이러한 검사들은 내전형 연속성 발성장애 환자의 후두 기전의 특성을 주파수와 성대 진동의 진폭의 변이성, 짧은 phonation duration, 음성 단절 중 증가된 내전활동, 갑상피열근과 윤상갑상근의 불수의적인 연속활동으로 하였다. 내전형 연속성 발성장애 환자의 경우에 있어서 후두경 검사상 갑상피열근의 증가된 활동을 보이며 이로 인해 음성 발생시 성대의 내전운동의 증가현상을 보인다고 알려져 있다. 내전형 연속성 발성장애 환자에게 있어서 높은 glottal airflow는 최대 외전과 내전중 많은 양의 공기가 성대를 통과하는 것과 성대의 불완전한 폐쇄를 의미하며 이와 같은 높은 airflow로 인해 과내전된 성대를 이기기 위해 높은 성문하압이 발생하는 것으로 되어 있다.¹⁴⁾

그러나 Hirano 등¹⁵⁾의 보고에 의하면 연속성 발성장애 환자에 있어서 air flow rates는 정상범위이며 Bri-

ant 등¹⁶⁾에 의하면 air flow rate는 정상범위보다 낮은 것으로 되어 있다고 보고되었다. 이번 연구에 있어서의 연속성 발성장애 환자의 air flow rate는 정상인 군보다 낮은 것으로 나타났으나 통계학적으로는 의미가 없었다. Randall 등¹⁷⁾에 의하면 성문하압과 성문저항은 연속성 발성장애의 병의 중증 정도를 나타내는 중요한 지표로서(Glottic resistance=Subglottic pressure/Air flow), 연속성 발성장애 환자에 있어 이를 직접적인 방법으로 측정하여 이 지표들이 증가되어 있음을 실험적으로 증명하였다. 그러나, 이번 연구에서는 성문하압이 두 군간에 통계학적으로 의미 있는 차이가 없었으며 이는 Randall¹⁷⁾과 Hippel¹⁴⁾의 보고와 상반되며 이는 발생시 성대에서의 저항의 차이가 두 군간에 차이가 없다는 것을 말한다. 평균하압에 있어서도 역시 두 군간에 유의한 차이가 없었으며 이는 Woo 등⁴⁾의 보고와 같다. Vocal efficiency에 있어서는 정상인 군에서 연속성 발성장애 환자 군보다 유의하게 높은 수치를 보였다. Vocal efficiency는 acoustic power와 aerodynamic power의 비로써 Schutte¹⁸⁾에 의하면 이는 'Acoustic power/average air flow * subglottic pressure'이다. 정상인과 연속성 발성장애 환자에서 acoustic power, air flow, subglottic pressure는 모두 유의한 차이를 보이지 않았으나 acoustic power에 있어서는 정상인군에 있어서 상대적으로 높은 수치를 나타내었기에 두 군간의 vocal efficiency에 있어서 통계학적으로 유의한 차이가 나타난 것으로 생각된다.

Acoustic perturbation measurement of jitter and shimmer는 hoarse voice뿐 아니라 rough, harsh voice을 의미하는 지표로서 Zwirner⁹⁾와 Buchman⁷⁾에 의하면 연속성 발성장애 환자에서 정상인 군보다 높은 수치를 보이는 것으로 알려져 있으며 이번 연구에서도 연속성 발성장애 환자 군에서(jitter : 3.83%, shimmer : 9.47%) 정상인군(jitter : 0.74%, shimmer : 3.34%)보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 정상인 군보다 높은 jitter percent와 shimmer percent는 harsh, breathy, hoarse voice와 지각적으로 연관되어 있다.⁹⁾ 이는 최 등⁹⁾이 발표한 연속성 발성장애 환자의 음성기능 상태에서도 연관될 수 있다. 정상음-잡음 비율을 나타내는 NHR은 연속성 발성장애 환자 군에서 정상인 군보다 증가되어 있는 것을 보여주었으며 이는 Zwirner⁹⁾와 Buchman⁷⁾에 의한 연구의 결과와 같다.

VFo(standard deviation of fundamental frequency)은 성대의 연속성 운동과 연관이 되는 지표⁷⁾로 연속성 발성장애 환자에 있어 보툴리눔독소 주입술 후 연속성운동이 감소와 연관되어 감소하는 지표⁷⁾로 연속성 발성장애 환자에 있어서 정상인보다 유의 있게 높은 수치를 보였다.

이번 실험의 결과로 정상인과 연속성 발성장애 환자의 발성의 음성학 검사상(vocal efficiency, VFo, NHR, jitter, shimmer)의 차이를 볼 수 있었다. 그러나 다른 음성학 검사상의 결과(mean flow rate, mean air pressure, mean power, MPT, VTRI, FTRI, VTI)에서는 통계학적으로 차이를 보이지 않았다.

결 론

연속성 발성장애 환자와 정상대조군에서 음성언어분석 결과를 비교상 vocal efficiency, VFo, NHR, jitter, shimmer에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며 이러한 지표들은 연속성 발성장애 환자의 치료 후 기능적 추적검사와 병리생태를 규명하는데 있어서 유용할 것이다.

중심 단어 : 연속성 발성장애 · 공기 역학적 검사 · 음향 검사 · 음성효율.

References

- Blitzer A, Brin MF : *Laryngeal dystonia : a series with botulinum in therapy. Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1991 ; 100 : 85-89
- Blitzer A, Lovelace RE, Brin MF, Fahn S, Fink ME : *Electromyographic findings in focal laryngeal dystonia(spasmodic dysphonia). Ann Otol Rhinol Laryngol.* 1985 ; 94 : 591
- Aronson AE : *Clinical voice disorders. New York, 1985, Thieme*
- Woo P, Colton R, Casper J, Brewer D : *Analysis of spasmodic dysphonia by aerodynamic and laryngostroboscopic measurements. J Voice.* 1992 ; 6(4) : 344-351
- Dedo HH, Izdebski K : *Intermediate results of 306 recurrent laryngeal nerve sections for spastic dysphonia. Laryngoscope.* 1983 ; 93 : 9
- Woodson GE, Zwirner P, Murry T, Swenson MR : *Functional assessment of patients with spasmodic dysphonia. J Voice.* 1992 ; 6 : 338-343
- Crevier-Buchman LC, Laccourreye O, Papon JF, Nurit D : *Adductor spasmodic dysphonia(Case reports with acoustic analysis following botulinum toxin injection and acupuncture). J Voice.* 1997 ; 11(2) : 232-237
- Zwirner P, Murry T, Swenson M, Woodson GE : *Effects of botulinum toxin therapy in patients with adductor spasmodic dysphonia : Acoustic, aerodynamic, and videoendoscopic findings. Laryngoscope.* 1992 ; 102 : 400-406
- Choi HS, Moon HJ, Kim HY, Kim SC, Kim KM : *Effects of botulinum toxin injection in patients with adductor spasmodic dysphonia. Korean J Otolaryngol.* 1997 ; 40(4) : 475-480
- Choi HS, Moon HJ, Suh JW, Kim SG, Kim KM : *Effect of laryngeal EMG-guided botulinum toxin injection on spasmodic dysphonia. J Korean Logo Phon.* 1997 ; 8(2) : 204-209
- Choi HS, Moon HJ, Kim SK, Lee JH, Ahn SY, Kim KM : *Clinical analysis of spasmodic dysphonia. J Korean Logo Phon.* 1997 ; 8(1) : 54-58
- Traube L : *Zur Lehre von den Larynxaffectionen beim Ileotyphus, Berlin. 1871, Verlag Von August Hirschwald*
- Christine MS, Michael AC, Mary G : *Laryngeal aerodynamic aspects of women with adductor spasmodic dysphonia. Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1996 ; 122 : 385-388
- Hippel K, Mrowinski D : *Untersuchung stimmgesunder und stimmkranker personen nach der methode der pneulmotachografie. Hals-, Nasen-, und Ohrenheikunde.* 1978 ; 26 : 421-423
- Hirano M, Koike Y, Von LH : *Maximum phonation time and air usage during phonation. Folia Phoniatr (Basel).* 1968 ; 20 : 185-201
- Briant TD, Blair RL, Cole P : *Laboratory investigation of abnormal voice. J Otolaryngol.* 1983 ; 12 : 285-290
- Plant RL, Hillel AD : *Direct measurement of subglottic pressure and laryngeal resistance in norm al subjects and in spasmodic dysphonia. J Voice.* 1998 ; 12(3) : 300-314
- Schutte HK : *The efficiency of voice production. Kemper, Groningen, 1980*