

편측성대마비환자에서의 성문면적파형 (Glottal Area Waveform)의 정량적 측정

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실, 음성언어의학연구소
최홍식 · 김명상 · 최재영 · 안성윤 · 이세영 · 홍정표

= Abstract =

Quantitative Measurement of the Glottal Area Waveform(GAW) in Unilateral Vocal Fold Paralysis

Hong-Shik Choi, M.D., Myung Sang Kim, M.D., Jae-Young Choi, M.D.,
Sung Yoon Ahn, M.D., Sei Young Lee M.D., Jung Pyoe Hong, M.D.

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

Type I thyroplasty in conjunction with arytenoid adduction is one of the excellent techniques in the treatment of unilateral vocal fold paralysis. But perioperative objective evaluation of the patients is difficult. With the development of the videostroboscopy and image analysis program, we could quantify the Glottal Area Waveform(GAW) in patients with unilateral vocal fold paralysis and investigated the relationship between the glottal area and aerodynamic and acoustic parameters. Eight female patients who were performed type I thyroplasty in conjunction with arytenoid adduction and 5 females with normal vocal function were involved in this study. Preoperative and postoperative videostroboscopy and vocal function study were performed. GAW was analysed quantitatively with image analysis program(Kay Stroboscope Image analysis, KSIP) Peak Glottal Area(PGA), Baseline Offset(BO), and Closing Phase(CP) were increased in patients with unilateral vocal fold paralysis and they were reduced after the operation. Mean Flow Rate (MFR) was well correlated with the PGA in normal control group and unilateral vocal fold paralysis patients. Noise to harmonic ratio(NHR) was correlated with PGA only in preoperative unilateral vocal fold paralysis patients. In conclusion quantitative measurement of the GAW is useful method in evaluation of unilateral vocal fold paralysis patients.

KEY WORDS : Quantitative measurement · Glottal area waveform · Videostroboscopy · Vocal fold paralysis.

서 론

제 1형 갑상연골성형술과 피열연골내전술을 동시에

시행하는 술식은 편측성대마비환자에게서 우수한 효과를 보이고 있다¹⁾. 한편 수술전후 이들 환자의 평가는 주로 듣기평가나 컴퓨터를 통한 음향분석 등에 의존해 왔으며, 이와 더불어 후두스트로보스코피의 영상을 시

술자가 주관적으로 해석하는 것이 수술계획을 세우는데 도움을 주어 왔다. 1990년대 들어 컴퓨터기술의 발달과 더불어 스트로보스코피영상을 객관적으로 평가하려는 시도가 시작되었는데, Sercarz등²⁾과 Omori등³⁾⁴⁾이 성대마비환자에서 성문 틈의 넓이를 컴퓨터 program을 이용하여 pixel 단위로 측정했으며, 1996년 Woo가 스트로보스코피의 영상을 분석하여, 정상인에 게서 성문면적파형(Glottal Area Waveform, GAW)을 정량적으로 측정하였다⁵⁾. 저자들은 이러한 향상된 영상분석 프로그램을 이용하여 편측성대마비환자의 수술전후 상태를 객관적으로 평가해보고자 하였다.

본 연구의 목적은 첫째, 후두스트로보스코피 영상을 바탕으로 영상분석프로그램을 이용하여 정상인과 편측성대마비환자에게서 성문면적파형(GAW)을 정량적으로 측정하고, 둘째, 측정된 GAW와 aerodynamic parameters 사이의 상관관계를 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

1997년 연세의료원에서 제1형갑상성형술과 피열연골내전술을 동시에 시행 받은 환자 22명중 후두스트로보스코피의 영상이 양호하여 성대의 전연합교련과 성대돌기를 지속적으로 관찰할 수 있는 8명의 여자환자를 대상으로 하였다. 환자들은 갑상선 등의 수술을 시행받은 후 편측성대마비가 발생하였으며, 이들의 이환 기간은 4개월에서 3년 사이였다(Table 1). 또한 후두내시경을 통해 정상 후두 기능을 가진 것이 확인된 5명의 여자들을 정상 대조군으로 사용하였다.

2. 후두스트로보스코피와 음성검사방법

대상환자들을 수술전과 수술후 2개월째 비디오후두

Table 1. Clinical profile of subjects

No.	Gender/Age	Site	Etiology	Duration of disease
1	F/48	R	Thyroid surgery	3 years
2	F/38	L	Thyroid surgery	2 years
3	F/36	L	Abdominal surgery	2 years
4	F/37	L	Neck mass excision	6 years
5	F/39	R	Thyroid surgery	3 years
6	F/45	L	Thyroid surgery	2 years
7	F/53	L	Chest surgery	4 years
8	F/49	L	Thyroid surgery	11 years

R : right, L : left

스트로보스코피와 최장발성지속시간과 기본주파수검사를 포함한 일련의 음성언어검사를 시행하였다. 비디오후두경술 및 스트로보스코피는 Kay 70° telescope model 9150, Kay 9100 Rhino-Laryngeal Stroboscopy를 사용하였고 음성녹음과 음성기능분석은 Kay CSL clinical sona-graph package(Model 4393)를 사용하였다. 후두스트로보스코피시 환자들은 편안한 크기와 pitch로 6초 이상 /æ/ 발성을 시행하도록 하였다. 정상대조군에서도 상기한 검사를 모두 시행하였다.

3. Glottal area wave form의 정량적 분석

녹화된 영상을 Kay사의 영상분석프로그램인 Kay Stroboscope Image Program(KSIP, Kay Electric Corp., NJ, USA)을 이용하여 정량적으로 분석하였다. 녹화된 영상에서 성대가 중앙에 오도록 영역을 선택하고, 성대전연합교련과 성대돌기사이의 길이를 측정하여 이를 측정된 면적을 표준화시키는 기준으로 삼았다(Fig. 1). 한 번의 발성주기동안 20개의 정지화면을 설정한 후 명암도의 차이에 의해 성문면적이 자동적으로 측정되며, artifact를 제거하기 위해 수작업을 통한 편집과정을 거친 후 나타난 성문면적파형(GAW)을 구할 수 있었다(Fig. 2, 3). 2번 이상의 발성주기를 관찰하여 그 평균값으로 여러 계수들을 구하였다. 이때 측정된 계수들은 Table 2와 같다. 한편 같은 20개의 정지화면에서 성대의 중앙축을 자동적으로 설정한 후, 이 축에서 양측 성대사이의 거리인 축거리(amplitude)를 나타내는 그림을 구할 수 있었다(Fig. 4). 편측성대마비 환자에게서도 같은 방법으로 성문면적파형과 축거

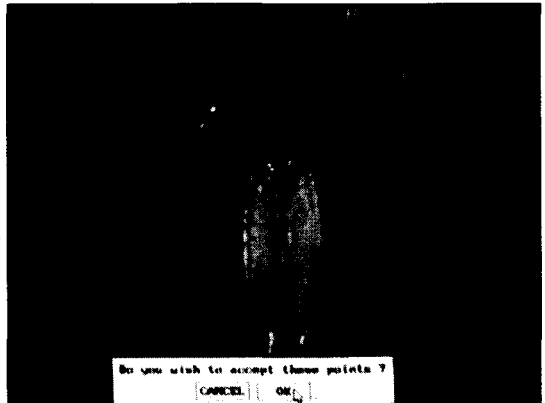


Fig. 1. After marking the anterior commissure and vocal process, the distance between two points was measured and used for normalizing the glottal area.

리(amplitude)를 측정하였다(Fig. 5, 6, 7, 8).

통계분석은 Pearson correlation과 paired t-test를 사용하였다.

4. 수술방법

수술술기는 제1형 갑상성형술의 경우 Netterville등의 방법⁶⁾에 준하여 시행하였고, 피열연골내전술의 경우

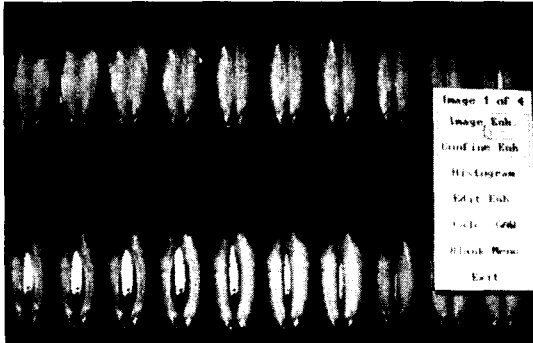


Fig. 2. Twenty sequential frames in one glottal cycle were captured. The glottal area was automatically measured by contrast difference.

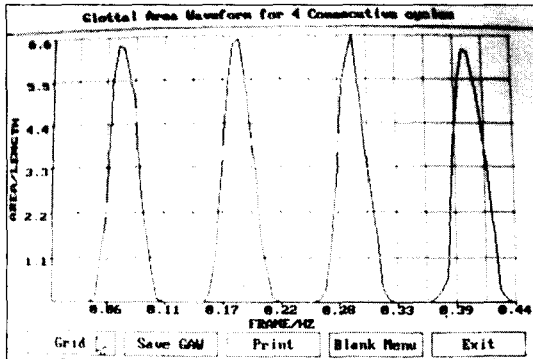


Fig. 3. After manual editing, the glottal area was measured by counting the pixel numbers within the automated trace of the glottal area. The glottal area was obtained by plotting these values.

Table 2. Definition of parameters

Parameters	Definition
Peak glottal area(PGA)	The largest glottal area during the glottal cycle
Baseline offset(BO)	The lowest value of glottal area reached during the glottal cycle
Closing phase(CP)	The number of video frames in which the vocal fold are moving medially
Opening phase(OP)	The number of video frames in which the vocal fold moving laterally

Isshiki등이 고안한 방법⁷⁾을 이용하였다. 피부절개는 전성부 갑상연골의 중간부위에서 시작하여 마비 측으로 조금 더 연장하여 약 7~8cm정도 가한다. 광경근하 피부판(subplatysmal skin flap)을 들어올리고, 확대

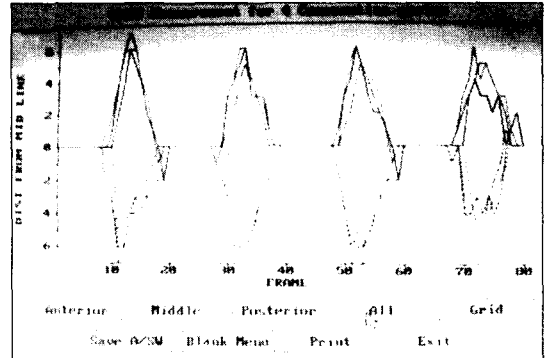


Fig. 4. After defining the middle line, the distance of each fold lateral excursion(amplitude) was automatically traced at anterior, middle and posterior one third portion of the vocal fold.

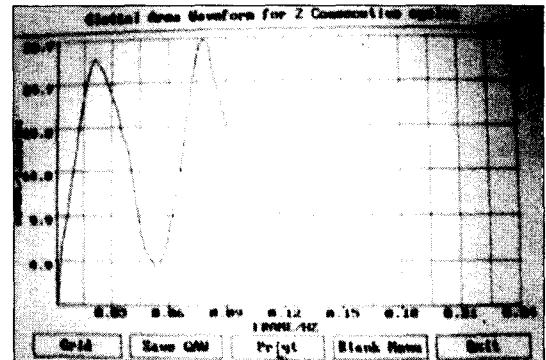


Fig. 5. Preoperative glottal area waveform in unilateral vocal fold paralysis. Increased peak glottal area, baseline offset were noted.

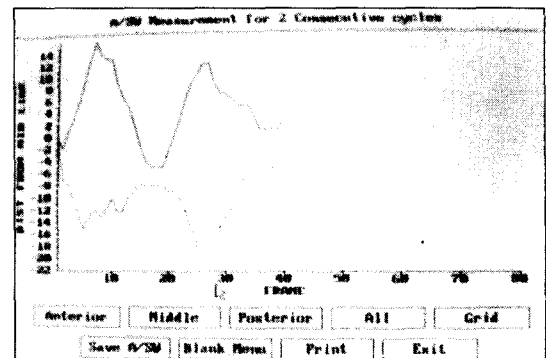


Fig. 6. Preoperative amplitude in unilateral vocal fold paralysis. The amplitude was increased and the vocal fold was not closed completely in closed phase.

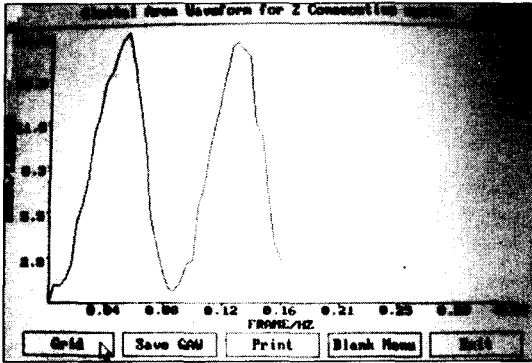


Fig. 7. Postoperative glottal area waveform in unilateral vocal fold paralysis. The peak glottal area and baseline offset were reduced.

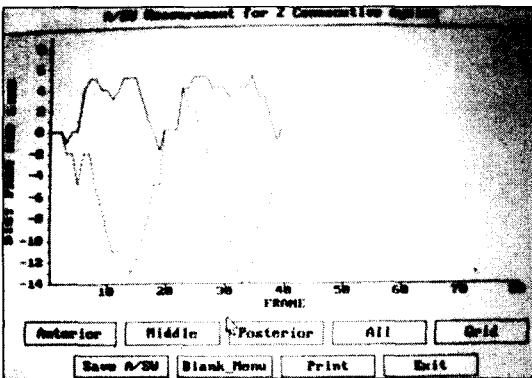


Fig. 8. Postoperative amplitude in unilateral vocal fold paralysis. The amplitude was decreased and vocal fold was closed completely in closed phase.

근(strap muscle)을 외측으로 벌려 갑상연골을 되도록 넓게 노출시킨다. 마비측 갑상연골판을 노출시킨 후 silastic block이 삽입될 창의를 결정하게 된다. 창의 크기는 세로가 약 5~6mm 가로가 약 10~12mm 크기로 만들게 되며, 창의 상연은 갑상절흔과 갑상연골 하연의 중간부위에 위치하게 하고 창의 하연은 갑상연골 하연으로부터 약 3~4mm 위에 평행하게 위치시킨다. 창의 앞쪽 세로연은 성대전연합부로부터 약 5~7mm 후방에 위치시킨다. 창의 위치가 결정된 후 창의 위치에 해당하는 갑상연골 외측 연골막을 들어올린 후 창에 해당하는 갑상연골을 제거한다. Small skin hook을 이용하여 갑상연골의 후연을 전방으로 견인한 후 갑상연골후연의 내측으로 연골막을 박리시킨 후, 윤상갑상관절을 분리시키고 갑상연골후연을 더욱 회전시켜서 이상외부위를 노출시킨다. 후두 내로 침범하지 않도록 주의하면서 이상외점막을 하방으로 누른 상태에서 후윤상피열근을 확인한다. 근육돌기를 확인하고 후윤상피열근을 절단한 후 윤상피열관절을 열고 피열연골의 근육돌기에 두 개의 3-0 nylon suture로 갑상연골판의 앞쪽을 통과하여 근육돌기를 잡아당길 수 있게 한다. 이때 하나는 주로 연부조직 즉, 측윤상피열근부위를 통과시키는데 그 통과하는 위치가 성대의 내전정도를 부분적으로 결정하게 된다. 이때 미리 만들어 놓은 silastic block을 창에 삽입한다. Silastic block삽입시 삽입을 편하게 하기 위하여 block을 조각으로 절개하여

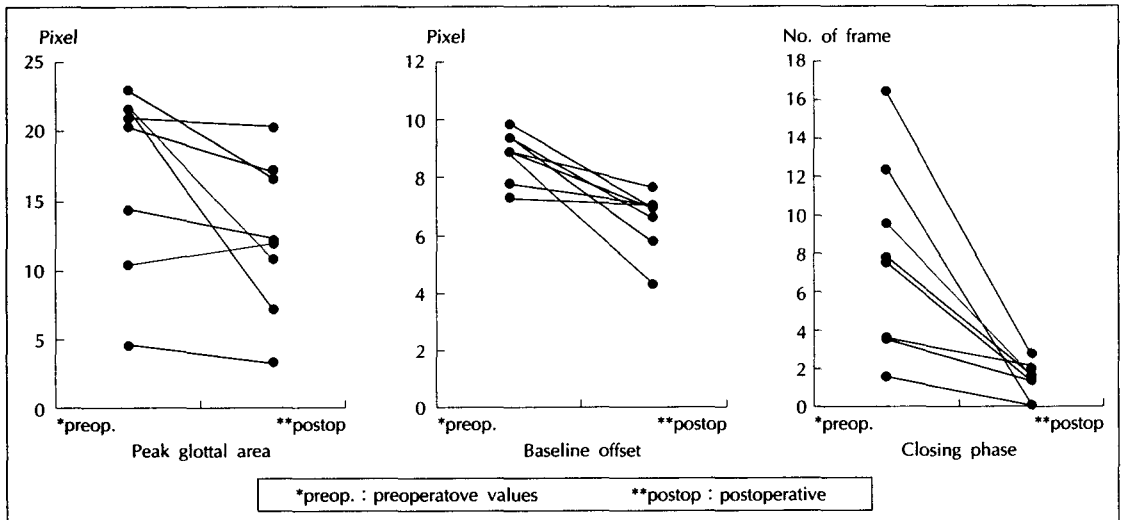


Fig. 9. Perioperative changes of glottal area waveform. Peak glottal area, baseline offset, closed phase was increased at preoperative period, and they were decreased at postoperative period.

Table 3. Mean values of parameters

Parameters	Preoperative	Postoperative	Control
Peak glottal area(PGA, pixel)	14.8	12.2	10.2
Baseline offset(BO, pixel)	9.8	1.9	0.88
Closing phase(CP, No. of frame)	8.0	7.0	6.8
Opening phase(OP, No. of frame)	7.3	7.5	7.7

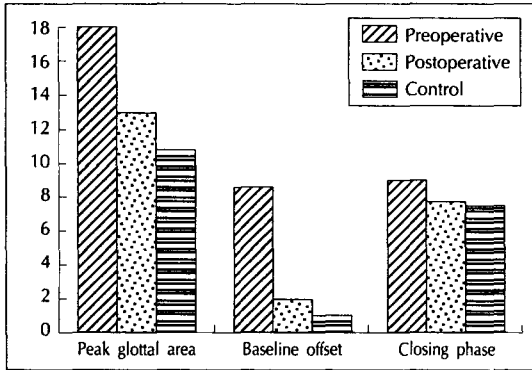


Fig. 10. Mean values of glottal area waveform. After operation, the parameters of patients were decreased to the level similar to the that of normal control group.

뒤쪽조각을 먼저 삽입한 후 앞쪽 조각을 삽입하였다. 마지막으로 피열연골이 원하는 위치로 내회전될 수 있도록 적절한 힘을 가하여 두 suture를 갑상연골판앞에서 결찰한다. 이후 혀대근을 봉합하고 절개부위를 층별로 봉합하였다.

결 과

KSIP로 측정된 정상인의 GAW를 보면 4번의 발생 주기동안 유사한 모양의 파형을 얻을 수 있었다(Fig. 3). 수술전 편측성대마비환자의 경우 최대성문면적(Peak Glottal Area, PGA)와 기본성문면적(Baseline Offset, BO) 이 증가된 모습을 관찰할 수 있으며(Fig. 5), 수술후 PGA와 BO 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5와 7은 수술전후 성문면적파형의 변화를 나타낸 것이다. PGA, BO, 폐쇄기(Closing phase, CP) 등이 모두 수술 전에 비해 수술후 통계학적으로 유의하게 감소되었다. 이들의 평균치를 정상인의 평균치와 비교해 보면 수술 전에는 이들 계수가 증가하였다가 수술 후 정상인의 평균값에 근접하는 양상을 보여주고 있다(Fig. 9, Table 3).

Fig. 11과 12는 측정된 PGA와 acoustic and aero-

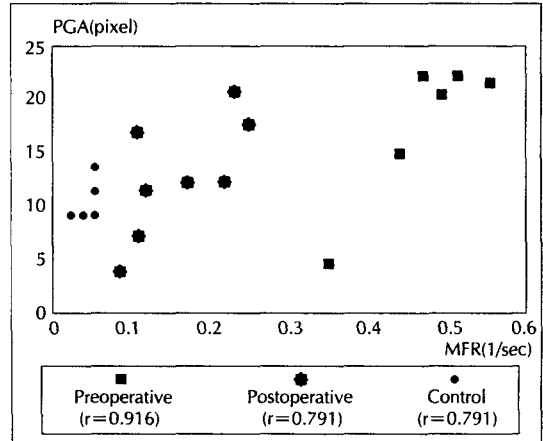


Fig. 11. The correlation between peak glottal area (PGA) and mean flow rate(MFR). Two parameters were well correlated in preoperative, postoperative period and normal control group.

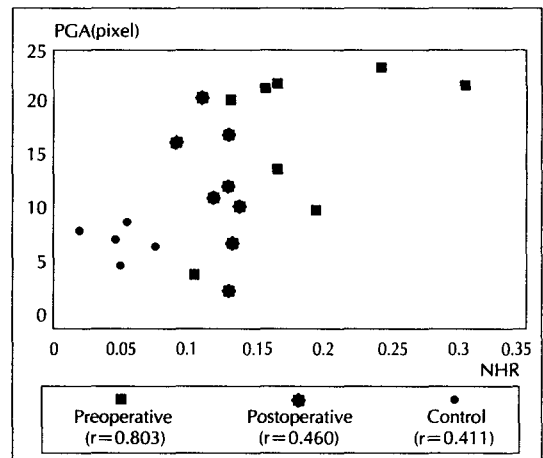


Fig. 12. The correlation between peak glottal area(PGA) and noise to harmonic ratio(NHR). Two parameters were well correlated only in preoperative period.

dynamic parameter 사이의 상관관계를 보여주는 도표이다. 평균호기류율(MFR)의 경우 수술 전과 수술 후 그리고 정상인 모두에게서 통계학적으로 유의한 상관관계를 보여주고 있으며 Noise to Harmonic Ratio(NHR) 의 경우 수술 전에는 높은 상관관계를 가지

고 있으나, 수술후와 정상인에서는 큰 상관관계를 보이지 않았다. Fig. 4는 축거리를 나타내는 그림인데 정상 대조군의 경우 좌우가 비교적 대칭적이며, 성문폐쇄기(Closed Phase)때 성문이 완전히 닫히는 모습을 관찰할 수 있다. 편측성성대마비환자의 경우 수술 전에는 축거리가 증가되어 있고 성문폐쇄기때 성대가 완전히 닫히지 않았지만(Fig. 6), 수술후 축거리가 감소하였으며 성문폐쇄가 완전히 이루어지는 것을 확인할 수 있다(Fig. 8).

고 찰

성대는 발생시 초당 100에서 250정도의 고속으로 진동하기 때문에 발생시 성대의 모양을 관찰하기 위해서는 high-speed photography나 Stroboscopy 등의 특수한 장비가 필요하다. 1937년 high-speed photography를 이용해 발생중인 성대를 처음 관찰한 이후 Timcke등⁸⁾은 발생 중 촬영된 여러 장의 사진을 분석하여 성대진동 주기동안의 Glottal area waveform (GAW), Open Quotient, Speed Quotient 등의 계수를 제시하였다. 그러나 이러한 계수의 측정은 모두 수작업을 통하여 얻어졌기 때문에 정확도가 떨어졌으며, Tanabe등⁹⁾이 computer를 부분적으로 이용하기도 했으나 high-speed photography는 장비가 복잡하고 고가이며 이를 이용해 성문 파형을 측정하는데는 상당한 시간이 필요하기 때문에 임상적으로 이를 이용하는 데는 한계가 있다. Stroboscopy를 이용한 성대 폭과 성문면적의 측정은 Wendler등¹⁰⁾에 의해 처음으로 시도되었으나, 임상적으로는 큰 도움을 주지 못하였으며, 국내에서도 최 등¹¹⁾에 의해 시도되었으나 그 정확성에는 한계가 있었다. 1990년대 들어 컴퓨터 프로그램의 발달로 비교적 정확한 성문면적의 측정이 가능하게 되었다. Woo⁵⁾는 후두스트로보스코피와 Bioscan사의 영상분석 프로그램으로 정상인에서 PGA와 BO 등의 계수를 측정하여 이러한 계수들이 성별, 발생강도, 주파수별로 차이가 있다고 보고하였다. 국내에서도 손 등¹¹⁾에 의해 Kay사의 프로그램을 사용하여 정상인에게서의 성대진동의 특성을 관찰하였다.

편측성대마비환자의 경우 마비의 정도를 median, paramedian, intermediate, neutral, lateral 등으로 구별하였으나, 그 경계가 불분명하여 검사자 간의 오차

가 발생하게 된다. 이를 극복하기 위하여 스트로보스코피를 통해 얻어진 성대의 모습에 점수를 부여해서 이를 객관화하려 하였다¹²⁾. 또한 Woodson¹³⁾은 전연합교련, 후연합교련 근육돌기사이의 각도를 측정하여 반회신경마비와 상후두신경마비를 구별하려 하였다. 편측성대마비환자에서의 성문면적의 객관적 측정도 여러 차례 시도되었는데, Sercarz등²⁾이 마비환자에서의 최대성문면적을 측정한 후 이를 성대막양부의 길이를 통해 표준화시켰으며, Omori등³⁴⁾은 미국보건기구(NIH)의 프로그램을 이용하여 제1형 갑상성형술을 받은 환자에게서의 성문면적을 측정하였으며, 이때 스트로보스코피의 위치에 따라 면적이 변하는 것을 막기 위해 성대의 전후 길이에 대한 상대값으로 면적을 표시하였다.

저자들은 편측성대마비로 제1형갑상성형술과 피열연골내전술을 시행받은 환자들에게서 후두스트로보스코피와 Kay사의 영상분석 프로그램을 이용하여 성문면적파형과 그 밖의 계수들을 측정하였으며, 이를 정상 여자 성인의 결과와 비교하였다. 정상인에게서는 성문개대기(OP)가 CP에 비하여 약간 길게 측정되었으며, PGA와 BO은 10.2와 0.88로 측정되었는데 전반적인 성문면적파형이 측정된 4번의 cycle 동안 큰 변화 없이 비교적 일정하게 관찰되어 객관적인 자료로서 사용할 수 있으리라 본다. 저자들의 측정결과 전반적인 GAW은 Tanabe등⁹⁾의 high-speed photography에 의해 측정된 결과와 유사하였으며, PGA와 BO은 Woo⁵⁾의 측정치에 비하여 증가된 것으로 나타났는데, 이는 사용한 프로그램이 다르며, 저자들의 측정에서는 후방성문틈(posterior glottal chink)을 포함시켰기 때문인 것으로 사료된다. 저자들의 측정치는 정상인에게서 같은 프로그램을 사용하여 측정한 손 등¹¹⁾의 결과와 유사하다. 성문의 면적과 aerodynamic parameter 사이의 상관관계도 여러 차례 연구되었는데, Rammage등¹⁴⁾은 성대결절을 가진 여자환자에게서 후방성문틈과 평균호기류율(MFR) 사이에는 상관관계가 있다고 하였으며, Omori등³⁴⁾은 type I thyroplasty를 시행받은 환자에게 수술전후 성문면적이 MFR과 HNR(Harmonic to Noise Ratio) 등의 aerodynamic parameter 등과 높은 상관관계를 가진다고 하였다. 저자들의 측정에서도 MFR의 경우 높은 상관관계를 가지고 있었는데, 이는 후두스트로보스코피와 KSIP를 이용하여 측정된 성문면적이 환자의 음성의 질(voice quality)을 예측할 수

있는 객관적인 자료가 될 수 있음을 시사한다고 하겠다. NHR(Noise to Harmonic ratio)의 경우 Jitter와 Shimmer 그리고 turbulent noise 등의 요소를 모두 나타내므로⁴⁾ 수술전 성문의 면적이 클 경우 측정된 면적과 뚜렷한 상관관계를 가지지만 수술후나 정상인의 경우 noise component가 단지 성문의 면적에 의해 결정되는 것이 아니며, 점막의 파동상태나 삼차원적인 성대의 배열(alignment)에 의해 결정되기 때문에 NHR와 측정된 면적사이의 상관관계가 떨어지는 것으로 보인다.

발성주기중 축거리(amplitude)의 측정은 KSIP의 또 다른 특징이다. 정확한 amplitude를 측정하기 위해서는 후두스트로보스코피 촬영시 성대의 축이 기울어지거나 화면이 움직이지 않도록 촬영해야 하며, 그렇지 않을 경우 양측 성대가 비대칭적으로 측정된다. 정확한 측정이 이루어진 경우 이 축거리(amplitude) 파형을 통해 성문의 개폐정도와 성문폐쇄기때의 성문틈의 넓이를 알 수 있는 유용한 측정방법이라고 생각된다.

후두스트로보스코피에 의한 성문파형측정법인 KSIP는 아직까지는 여러 가지 한계점을 가지고 있다. 정확한 성문파형을 측정하기 위해서는 성대의 전 길이를 관찰할 수 있어야 하며 적어도 2 주기 이상의 발성주기가 관찰되어야하나, 성대마비환자의 최장발성지속시간(MPT)이 짧아 충분한 발성시간을 확보하지 못한 경우가 많았다. 따라서 본원에서 97년 제1형 갑상성형술과 피열연골내전술을 동시에 시행 받은 21명의 환자중 정확한 관찰이 가능한 경우는 8명에 불과하였다. 또한 후두스트로보스코피의 영상이 양호한 경우에도 표준화의 기준으로 삼은 성대의 전후길이가 환자마다 모두 다르며, 특히 성대마비환자의 경우 성대전후길이가 짧아져 있기 때문에 성문면적이 크게 측정될 수 있다. 또한 측정된 성문면적은 성문내의 그림자나 빛의 반사 그리고 타액에 의한 변형 등의 이유로 수작업을 통한 편집과정이 필요한데 이 과정에서 오차가 발생할 수 있어 절대적인 수치는 되지 못한다. 또한 오차는 후두내시경의 각도 등에 의해서도 올 수 있다 이와 더불어 후두스트로보스코피의 영상은 2차원적인 것이므로 양측 성대의 배열이상 등 3차원적인 구조를 반영하지는 못한다.

결 론

후두스트로보스코피와 영상분석프로그램인 KSIP 성문면적파형을 정량적으로 측정할 수 있었으며 편측성 대마비환자에게서 환자의 수술계획을 수립하고 수술후 환자를 객관적으로 평가하는데 유용한 방법으로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 좀 더 신뢰성 있는 자료가 되기 위해서는 보다 발달된 측정 프로그램과 표준화된 측정방법이 고안되어야 하며 많은 환자에서 성대의 전 길이를 관찰하기 위해 고화질의 fibroscope 등이 개발되어야 하겠다.

References

- 1) Choi HS, Kim KM, Cho JI, Kim SH, Kim HY : *Effect of arytenoid adduction and type I thyroplasty combined surgery for unilateral vocal cord paralysis. Korean J Otolaryngol. 1997 ; 40 : 505-512*
- 2) Sercarz JA, Berke GS, Arnstein D, Gerratt B : *A new technique for quantitative measurement of laryngeal videostroboscopic images. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 1991 ; 117 : 871-876*
- 3) Omori K, Slavitt DH, Kacker A, Blaugrund SM : *Quantitative criteria for predicting thyroplasty type I outcome. Laryngoscope. 1996 ; 106 : 689-693*
- 4) Omori K, Slavitt DH, Kacker A, Blaugrund SM : *Quantitative videostroboscopic measurement of glottal gap and vocal function : an analysis of thyroplasty type I. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1996 ; 105 : 280-285.*
- 5) Woo P : *Quantification of videostroboscopic findings-measurement of the normal glottal cycle. Laryngoscope. 1996 ; 106 : 1-27*
- 6) Netterville JL, Stone RE, Luken ES : *Silastic medialization and arytenoid adduction : the Vanderbilt experience. Ann Otol Rhinol Laryngol. 1993 ; 103 : 413-424*
- 7) Isshiki N, Tanabe M, Sawada M : *Thyroplasty type I(lateral compression for dysphonia due to vocal cord paralysis or atrophy). Acta Otolaryngol. 1975 ; 80 : 465-473*
- 8) Timcke R, Leden H, Moore P : *Laryngeal vibration*

- : measurements of the glottic wave. *Arch Otolaryngol.* 1958 ; 68 : 1-19
- 9) Tanabe M, Kitajima K, Gould WJ, Lambiase A : *Analysis of high-speed motion pictures of the vocal folds. Folia Phoniatica.* 1975 ; 27 : 77-87
 - 10) Wendler J, Koppen K, Fischer S : *Validity of stroboscopic data in terms of quantitative measures. In : Hirano M, Nimi SR, Proceedings of the international conference on voice. Kurume Japan, 1986 : 36-43*
 - 11) Son YI, Lee K, Ryu JS, Back CH : *Quantitative analysis of glottal cycles according to the frequency and intensity variations in normal speakers. J Korean Soc Logo Phon.* 1997 ; 8 : 5-11
 - 12) Harries ML, Morrison M : *The role of stroboscopy in the management of a patient with a unilateral vocal fold paralysis. J Laryngol Otol.* 1996 ; 110 : 141-143
 - 13) Woodson GE : *Configuration of the glottis on laryngeal paralysis. I : clinical study. Laryngoscope.* 1993 ; 103 : 1227-34
 - 14) Rammage LA, Peppard RC, Bless DM : *Aerodynamic, laryngoscopic and perceptual-acoustic characteristics in dysphonic females with posterior glottal chinks : a retrospective study. J Voice.* 1992 ; 6 : 64-78