

## 생체 발성모형에서 발성시 공기양의 변화가 음성 지표에 미치는 영향

연세대학교 의과대학 음성언어의학연구소, 이비인후과학교실  
최 홍 식

= Abstract =

### Effect of Air Flow Change on Voice Parameters : In Vivo Canine Laryngeal Model

Hong-Shik Choi, M.D.

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

*Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

In vivo canine model was made in two mongrel dogs under the general I-V anesthesia. A vertical skin incision was made on the neck, the larynx and the trachea were dissected. Two tracheal openings were made : lower one for the insertion of the anesthesia tube and upper one for the delivery of air to the larynx to induce phonation. External branch of the superior laryngeal nerves and recurrent laryngeal nerves bilaterally were identified and stimulated electrically constantly.

Subglottic pressure, fundamental frequency, intensity, and open quotient were measured when the air flow rate was varying low, medium and high. Glottic resistance was calculated.

As the air flow rate was increased, the subglottic pressure and the sound intensity were increased. However, glottic resistance was decreased as the air flow was increased. In falsetto register, fundamental frequency was increased with the increment of air flow, but in modal register fundamental frequency was not increased statistically significant. Open quotient by the electroglottography was increased according to the increment of airflow.

KEY WORDS : In vivo laryngeal model · Airflow · Voice parameters.

### 서 론

1963년 Rubin<sup>1)</sup>은 개를 사용한 생체 발성모형을 이용하여 공기양의 변화와 성문하압, 음성의 기본 주파수와와의 관계를 보고하였다. 요약하면, 공기양이 증가될수록 성문하압은 증가되었으나, 기본주파수는 별 영향이 없었다고 발표하였다. 그러나, 이

보고는 Isshiki<sup>7)</sup>에 의해 반박 보고되었는데, Rubin의 실험에서 사용되었던 공기의 양과 측정되었던 성문하압은 정상적인 음성의 범위에서 크게 벗어나 있다는 것이었다.

Koyama 등<sup>8)</sup>의 보고에 의하면, 그들의 생체 발성모형에서 공기양의 증가에 따라 성문하압은 증가되었으나, 증가하는 정도는 후두반회신경과 상

후두신경의 외지를 전기자극하는 강도에 따라 다르다고 하였다. 특히, 상후두신경을 많이 자극하여 가성영역(falsetto register)의 목소리를 내게할 때에는 성문하압이 많이 떨어진다고 보고하였다. 또한, Muta와 Fukuda<sup>10)</sup>는 사체의 후두 모형을 이용한 검사에서, 성문하압은 공기양의 증가에 따라 다소 증가하며, 성문저항은 반대로 감소한다고 발표하였다.

Smith 등<sup>13)</sup>은 개를 사용한 생체 발성모형에서 공기양의 증가가 성문하압을 증가시키며, 성문저항은 감소시킨다고 보고하였다. 한편, 기본주파수는 증가되고 성문개방율(open quotient)도 커진다고 보고하였다.

본 연구에서는 그동안 사용되어오던 개의 생체 발성모형<sup>1,4)9)12)</sup>을 개량하여 가성(falsetto)영역의 목소리와 지성(modal) 영역의 목소리를 낼 수 있는 발성모형을 만든 후, 동일한 강도의 신경자극으로 유발시킨 음성이, 공기양의 변화로 인하여 음성지표상에 어떤 변화를 일으키는 지를 알아보려고 하였다.

## 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

몸무게 15~20kg의 잡종 개 2마리를 사용하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 생체 발성모형(in vivo canine model)

Nembutal로 정맥 전신마취한 후 경부를 수직절개하고 후두와 기관을 노출시켰다. 기관에 2개의 기관절개공을 가능한 한 기관 원위부(distal)쪽으로 만든 후에, 원위부의 기관절개공으로 기관삽관을 하고 인공호흡기에 연결시켜 호흡의 통로로 사용하였다. 근위부(proximal)의 기관절개공으로는 다른 삽관튜브를 후두 쪽으로 삽입한 후, 삽관튜브의 끝을 성문에서 약 10cm 하방에 위치하게 하고 벌룬에 공기를 주입하여 공기가 새지않도록 하였다.

양쪽의 후두반회신경(recurrent laryngeal nerve)을 기관식도구(tracheo-esophageal groove)에서 찾고 신경자극자로 확인하였다. 후두반회신경의 마지막 분지인 갑상피열분지(TA branch)를 찾기 위하여, 갑상연골의 후연에 연결창을 만들어서 갑상

연골의 일부를 제거한 후, 갑상피열분지를 확인하고 측윤상피열분지(lateral crico-arytenoid branch)의 원위부에서 칼로 절단하였다. 또한, 상후두신경(superior laryngeal nerve)의 외지는 갑상연골의 측하에서 발견하였다.

특별히 고안된 유연한 실리콘고무 전극을 후두 반회신경, 갑상피열분지 및 상후두신경의 외지에 각각 양측으로 부착시켰다(Fig. 1).

#### 2) 사용 음성지표의 종류 및 측정방법(Fig. 2)

##### (1) 성문하압(subglottic pressure, Psub) ; channel 1

Catheter-tipped pressure transducer(Millar Instruments, model SPC 330)을 상부 기관절개공을 통하여 기관 내부로 삽입하여 성문 하 2cm 위치에 고정시켰다.

##### (2) 전기글로토티그래피(electroglottography, EGG) ; channel 2

EGG electrode(Synchrovoice)를 갑상연골 양측에 부착

##### (3) 광글로토티그래피(photoglottography, PGG) ; channel 3

Photosensor (Centronics)를 윤상연골 하부 기관에 부착

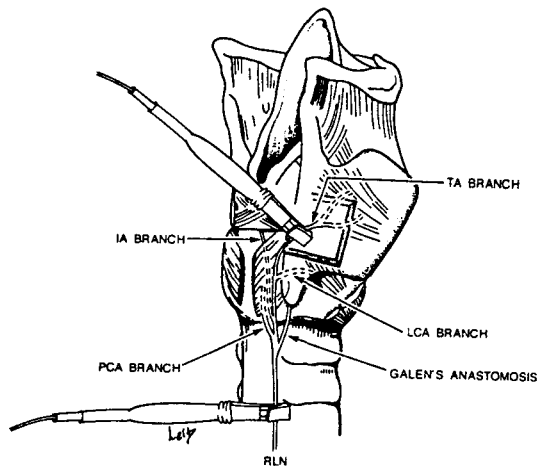


Fig. 1. In vivo canine laryngeal model. Cartilage windows were made. Thyroarytenoid(TA) branch was cut just distal to lateral cricoarytenoid(LCA) branch. PCA-posterior cricoarytenoid, IA-inter arytenoid.

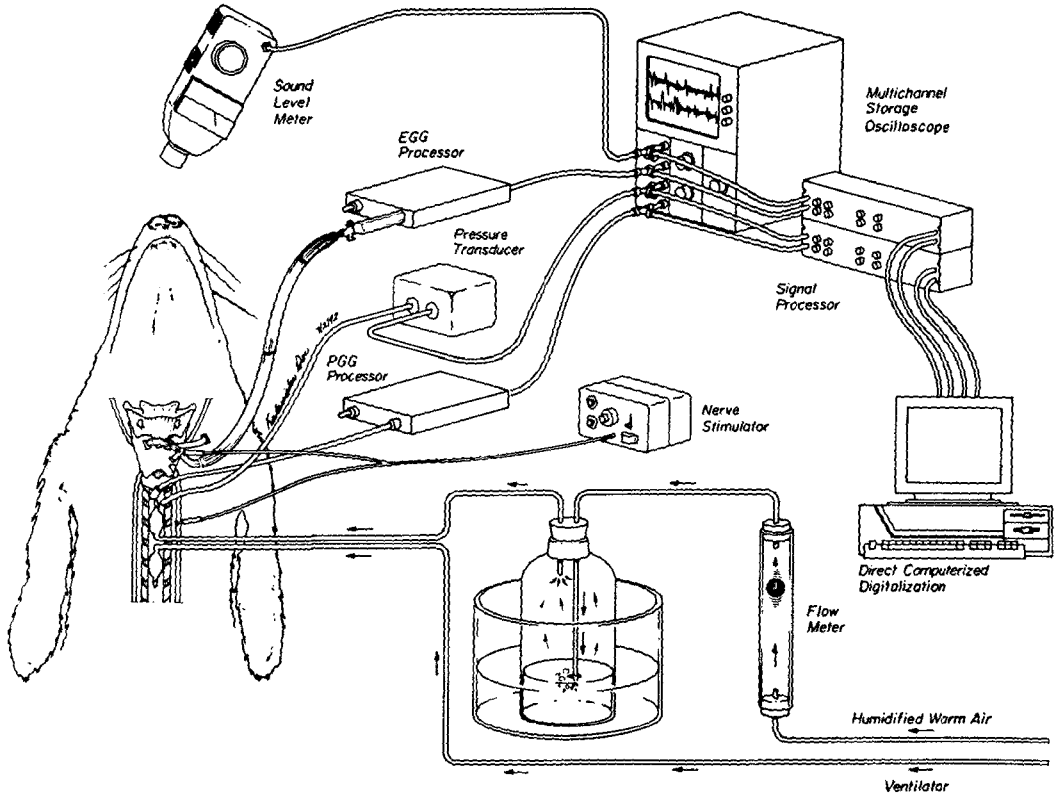


Fig. 2. Schematic drawing of the experimental set-up.

(4) 소리 크기 측정(intensity) : channel 4  
Sound level meter를 후두 앞 30cm에 위치시켜 측정함

### 3) Data의 분석 방법

위의 2)에서 측정되는 데이터는 아날로그 방식이므로 12bit A/D board(DT 2821)를 이용하여 digitize하였다. IBM 호환 기종인 컴퓨터와 software로는 CSPEECH(ver 3.1)로 4 channel을 사용하여 분석하였다.

성문저항(glottal resistance, R)은 성문하압( $P_{sub}$ )을 공기양(airflow, ml/sec)으로 나누어서 계산하였으며, 성문개방율(open quotient, OQ)은 EGG와 dEGG로 성대진동 한주기 당 성문의 개방시간의 비율로 계산하였다.

각 대상간 데이터의 통계처리는 t-test를 이용하였다.

### 4) 공기양 및 신경자극의 조절

공기양은 Low(388ml/sec, L), Medium(520ml/sec,

M), High(656ml/sec, H)의 3단계로 나누어 실시하였으며, 신경자극을 조절하여 가성영역의 유발음성(induced phonation in falsetto register)은 RLN(constant, 1.0 volt), TA br.(0 volt), SLN(0.5 volt)로 자극하여 유발시켰으며, 지성영역의 유발음성(induced phonation in modal register)은 RLN(constant, 1.0 volt), TA br.(0.7 volts), SLN(0.5 volt)로 자극하여 유발시켰다.

## 결 과

### 1. 성문하압( $P_{sub}$ )

성문하압은 가성영역의 유발음성에 비하여 지성영역의 유발음성이 현저히 높았으며( $p < 0.01$ , Fig. 3), 공기양이 증가함에 따라 가성영역, 지성영역에서 모두 성문하압은 차츰 증가하였다( $p < 0.05$ , Fig. 3).

### 2. 성문저항(glottal resistance)

성문저항은 가성영역의 유발음성에 비하여 지성

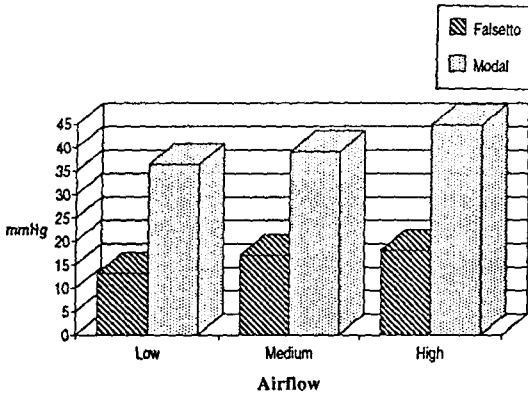


Fig. 3. Subglottic pressure.

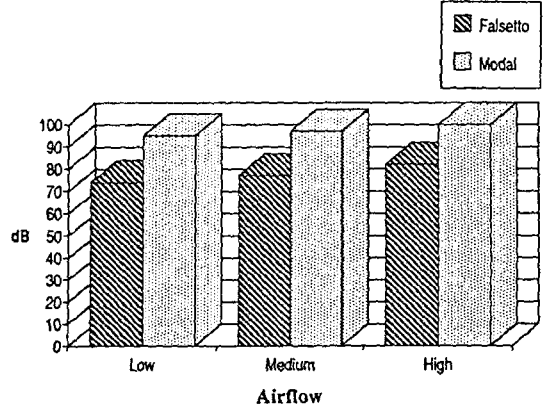


Fig. 5. Intensity.

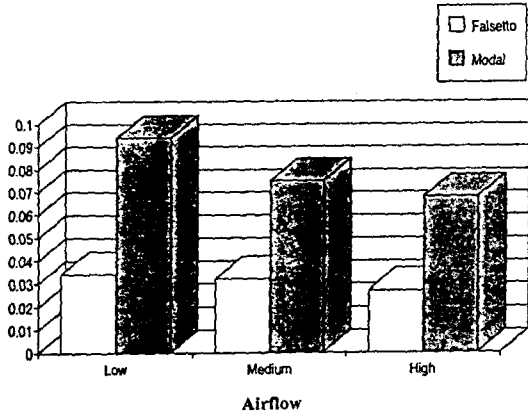


Fig. 4. Glottic resistance.

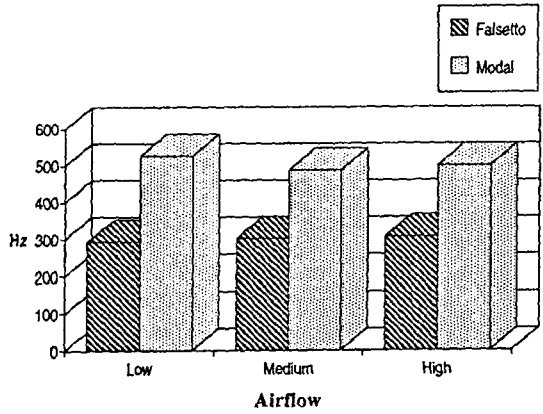


Fig. 6. Fundamental frequency.

영역의 유발음성이 현저히 높았으며( $p < 0.01$ , Fig. 4), 공기량이 증가함에 따라 가성영역, 지성영역 모두에서 성문저항은 차츰 감소하였다( $p < 0.05$ , Fig. 4).

### 3. 소리 크기(intensity)

가성영역의 유발음성의 소리 크기에 비하여 지성영역의 유발음성의 소리 크기가 현저하게 컸으며( $p < 0.01$ , Fig. 5), 공기량이 증가함에 따라 가성영역, 지성영역 모두에서 소리 크기는 증가되었다( $p < 0.05$ ).

### 4. 기본주파수(fundamental frequency)

가성영역의 유발음성에 비하여 지성영역의 유발음성의 기본주파수가 현저히 높았으며( $p < 0.01$ , Fig. 6), 공기량이 증가함에 따라 가성영역에서는 기본주파수가 차츰 증가되었으나( $p < 0.05$ , Fig. 6), 지성영역에서는 유의있는 변화는 없었다( $p > 0.05$ ).

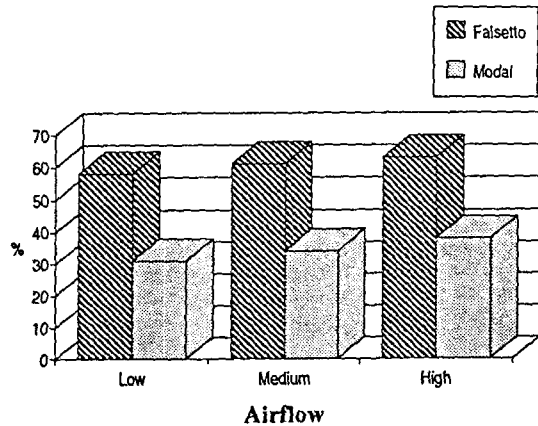


Fig. 7. Open quotient.

### 5. 성문개방율(open quotient)

지성영역의 유발음성에 비하여 가성영역의 유발음성의 성문개방율은 현저히 높았으며( $p < 0.01$ , Fig. 7), 공기량이 증가함에 따라 가성영역과 지성

영역에서 모두 성문개방율은 증가되었다( $p < 0.05$ , Fig. 7).

## 고 찰

본 연구에서는 개를 이용하여 가성영역의 유발음성과 지성영역의 유발음성을 유발시켜 실험에 응용한 Choi 등<sup>5)</sup>의 생체발성모형을 사용하여, 가성영역의 유발음성과 지성영역의 유발음성에서 공기양의 변화가 음성지표에 어떠한 영향을 주는지를 조사하였다.

내용을 요약하면, 갑상피열분지(TA branch)를 함께 자극하여 유발시킨 지성영역의 유발음성에서는 갑상피열분지를 자극하지 않아서 약하고 soft한 가성영역의 유발음성에 비하여 성문하압과 성문저항은 매우 컸으며, 소리의 강도와 기본주파수도 컸으나 성문개방율은 작았으며, 이는 다른 발표자들의 발표내용과 일치되는 소견이었다<sup>5)</sup>.

공기양이 증가됨에 따라 가성영역과 지성영역 모두에서 성문하압은 증가되었으며, 성문저항은 감소되었다. 또한, 소리의 강도는 증가되었으며, 성문개방율도 증가되었다. 기본주파수는 가성영역에서는 증가되었으나, 지성영역에서는 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

음성에 대한 후두의 역할은 기본주파수의 조절, 소리 크기의 조절, 음질의 조절이라고 할 수 있다. 음성의 기본주파수는 주로 성대의 질량(mass), 성대의 긴장도(tension), 진동에 관여되는 성대부분의 길이(damping) 및 성문하압(subglottic pressure) 등에 의하여 결정된다<sup>6)</sup>. 이 중에서도 성대의 긴장도와 성문하압이 가장 중요하게 작용되며, 그 두 가지의 변수를 효과적으로 조절하는 것은 성대내근 중에서도 갑상피열근(TA muscle)과 윤상갑상근(CT muscle)이다. 그 외에도 측윤상피열근(LCA muscle)과 피열근(IA muscle), 외후두근들도 간접적으로 도와주는 역할을 한다. Titze<sup>14)</sup>는 성문하압의 증가가 어떻게 기본주파수를 증가시키는가를 그의 논문에서 잘 설명하고 있다. 한편, 공기양의 증가는 성대근의 긴장도에 직접 영향을 주지는 않지만 성문하압을 증가시킴으로써 결국 기본주파수를 증가시키는 것으로 설명될 수 있다.

성대음의 크기는 성대내근의 긴장도가 클수록,

성문폐쇄율이 클수록, 성문하압이 높을수록, 공기양이 많을수록 커진다고 보고되고 있다<sup>6)</sup>. 이 조건을 만족시키기 위해서는 성대내전근의 근긴장도가 적절히 커지고 폐로부터 내쉬는 공기의 양이 많아야 한다. 본 실험에서 동일한 근수축 상태에서 공기의 양을 증가시켰더니 소리의 크기가 커졌으며, 동일 공기양에서는 갑상피열근의 수축을 동시에 유발시켰던 지성유발발성에서 소리의 크기가 현저히 큰 것을 확인하여 위의 가설이 맞음을 확인할 수 있었다. 지성영역에서는 성대내전근이 주로 음성의 크기 조절에 관여하지만, 가성영역에서는 주로 공기의 양이 소리의 크기를 좌우한다고 한다<sup>6)</sup>. 본 실험에서는 공기양의 증가가 지성영역에서든 가성영역에서든 소리의 크기를 증가시켰다.

성문개방율은 공기양이 증가될수록 증가되었는데 이는 Smith 등<sup>13)</sup>의 보고와 일치하였다.

앞으로 이 향상된 생체발성모형을 이용하여 더욱 미세한 성대 생리를 연구하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

## 요 약

- 1) 공기양이 증가함에 따라 성문하압( $P_{sub}$ )은 증가하였으나, 성문저항( $R$ )은 감소하였다.
- 2) 공기양이 증가함에 따라 소리 크기(Intensity)는 증가하였다.
- 3) 공기양이 증가함에 따라 성문개방율(OQ)은 증가하였다.
- 4) 가성영역(falsetto)에서 공기양의 증가는 기본주파수( $F_0$ )를 증가시켰으나, 지성영역(modal)에서는 일률적인 변화를 보이지 않았다.
- 5) 갑상피열분지(TA branch)를 함께 자극했을 때(modal)는 그렇지 않을 때(falsetto)에 비하여, 성문하압( $P_{sub}$ ), 성문저항( $R$ ), 소리 크기(intensity), 기본주파수( $F_0$ )는 모두 증가하였으나, 성문개방율(OQ)은 감소하였다.

## References

- 1) Berke GS, Green DG, Smith ME, Arnstein DP, Honrubia V, Natividad M : *Experimental evidence in the in vivo canine : the collapsible tube model of phonation.* J Acoust Soc Am 89 : 1358-1363, 1991

- 2) Berke GS, Hanson DG, Gerratt BR, Trapp TK, Macagba C, Natividad M : *The effect of airflow and medical adductory compression on vocal efficiency and glottal vibration. Otolaryngol Head Neck Surg* 102 : 21-28, 1990
- 3) Berke GS, Moore DM, Gerratt BR, Hanson DG, Bell TS, Natividad M : *The effect of recurrent laryngeal nerve stimulation on phonation in an in vivo canine model. Laryngoscope* 99 : 124-129, 1989
- 4) Berke GS, Moore DM, Hanson DG, Hantke DR, Gerratt BR, Burstein F : *Laryngeal modeling : theoretical, in vitro, in vivo. Laryngoscope* 97 : 871-881, 1987
- 5) Choi HS, Berke GS, Ye M, Kreiman J : *Function of the thyroarytenoid muscle in a canine laryngeal model. Ann Otol Rhinol Laryngol* 102 : 769-776, 1993
- 6) Hirano M : *The laryngeal muscles in singing. Neurolaryngology recent advances. Hirano M, Kirchner JA, Bless Dm (eds), A College-Hill Publication. Boston* 209-230, 1987
- 7) Isshiki N : *Vocal intensity and air flow rate. Folia Phoniatr* 17 : 92-104, 1965
- 8) Koyama T, Kawasaki M, Ogura J : *Mechanics of voice production : Regulation of vocal intensity. Laryngoscope* 79 : 337-354, 1969
- 9) Moore DM, Berke GS : *The effect of laryngeal nerve stimulation on phonation : a glottographic study using an in vivo canine model. J Acoust Soc Am* 83 : 705-715, 1988
- 10) Muta H, Fukuda : *Pressure-flow relationships in the experimental phonation of excised canine larynges. In : Fujimura A, ed. Vocal physiology : voice production, mechanisms and functions. New York, NY : Raven Press, pp239-247, 1988*
- 11) Rubin HJ : *Experimental studies on vocal pitch and intensity in phonation. Laryngoscope* 17 : 92-104, 1963
- 12) Sercarz JA, Berke GS, Bielamowicz SA, Kreiman J, Ye M, Green DC : *Changes in glottal area associated with increasing airflow. Ann Otol Rhinol Laryngol(in press)*
- 13) Smith ME, Green DC, Berke GS : *Pressure-flow relationships during phonation in the canine larynx. J Voice* 5 : 10-17, 1991
- 14) Titze I : *On the relation between subglottal pressure and fundamental frequency in phonation. J Acoustic Soc Am* 85 : 901-906, 1989