

## 후두 생리와 음성의학

최 홍식 (연세의대 이비인후과 조교수)

### I. 후두의 계통 발생과 후두의 4가지 기능

(Phylogeny and 4 functions of the Larynx)

사람 후두의 생리적 기능을 중요도에 따라 순서대로 나열하면 (1)하기도의 보호 기능, (2)호흡 기능, (3)발성 기능, 및 (4)흉강고정의 기능의 네가지로 요약할 수 있다. 이 기능적인 중요도의 순서를 체계적으로 아는 것이 여러가지로 다양한 후두의 생리적 현상을 이해하고, 다양한 후두 질환을 적절하게 치료할 수 있는 지침이 될 수 있을 것이다.

계통발생학적으로 후두의 기능을 조사해 보면, 후두 기능의 중요도를 순서대로 알 수 있다고 한다(Negus, 그림 1). 물속에 살던 물고기가 땅 위로 올라와서 살게되는 과정 중의 하나라고 생각되는 등목어(climbing perch)의 경우, 아가미 위에 호흡계실(respiratory diverticulum)이 존재한다(그림 1a). 이 원시적인 호흡 기관에는 물이 호흡 기관으로 들어오는 것을 막을 수 있는 밸브는 없다.

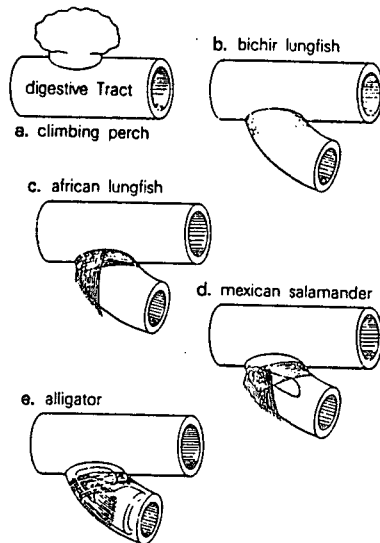


그림 1. 계통발생학적으로 본 후두의 구조와 기능

(Negus: The comparative anatomy and physiology of the larynx. London, einemann,1949).

폐어(lung fish) 중의 하나이며, 나일강에 서식하는 bichir 폐어(bichir lung fish)에는 팔약근으로 이루어진 단순한 호흡 밸브가 있어서 물이 들어가는 것을 막아주고 있다(그림 1b). 아프리카 폐어(African lungfish)에는 팔약근 뿐만 아니라, 분리된 근육이 있어서 밸브의 크기를 확대시킬 수도 있다(그림 1c). 아프리카 폐어는 물속에 살 때에는 팔약근이 막힌 상태로 있으나, 가뭄이 심해서 강물이 마른 경우에는, 밸브를 열어서 공기가 폐로 들어가도록 한다.

즉, 물속에 사는 동물 중, 원시 후두를 가지고 있는 동물의 후두의 주기능은 물이나 외부 물질이 하기도로 들어가는 것을 막아주는 단순한 밸브의 역할만을 한다는 것을 알 수 있다. 그러나, 물에서 공기를 호흡하며 사는 동물의 경우에는, 단순한 밸브의 역할 이외에 호흡을 원활히 하기 위하여 밸브 부위를 능동적으로 열어줄 수도 있어야 한다.

후두 부위에서 공기 흐름의 양을 많게 하기 위하여, 양서류 중에 멕시코 도롱뇽(Mexican salamander)의 경우에는, 성대의 양측에 측후두연골(lateral laryngeal cartilages)을 가지고 있는데, 여기에 성대 개대근이 붙어 있다(그림 1d).

측후두연골에 붙어 있는 성대 개대근의 개대 기능을 더 원활히 하기 위하여, 더 고등동물인 악어(Alligator)의 경우에는 후두와 기관 사이에 연골륜(cartilage ring)을 가지고 있으며, 여기에서 성대 개대근이 기시된다(그림 1e).

양서류의 측후두 연골은 사람의 피열연골(arytenoid cartilage)과 구조적으로 유사하고, 파충류의 연골륜은 사람의 운상연골(cricoid cartilage)와 비교될 만 하다.

즉, 계통발생적으로 보아, 후두의 기능을 중요도 순으로 나열하면, 하기도의 보호기능, 호흡 기능, 발성 기능의 순이라고 할 수 있으며, 발성 기능은 가장 덜 중요하며, 가장 고등 동물에서나 필요한 기능이라고 할 수 있다. 이러한 후두의 기본 기능들은 뇌간에서 유발되는 다양한 polysynaptic brainstem reflexes에 의해 이루어진다. 하기도의 보호기능은 전적으로 불수의적이고 반사적으로 이루어지는 반면에, 호흡기능과 발성 기능은 수의적으로 시작되고 불수의적인 되돌이 반사(feedback reflexes)에 의해 조절된다.

### 1. 하기도의 보호기능 (Protective function of the lower airway)

후두의 하기도 보호 기능의 대표적인 예로는 성문폐쇄반사 (glottic closure reflex)가 있다. 연하운동 시에 성문이 닫히는 단순한 반사운동인데, 상후두신경의 내지(internal branch)를 전기 자극하는 경우에 반회신경의 성대내전근 분지에서 다접합(polysynaptic)의 유발 활동전위(evoked action potential)를 얻을 수 있는 것으로 증명할 수 있다.

정상인에서 양측 상후두신경 자극에 의해 유발되는 상부 기도의 폐쇄는 다음과 같이

후두 내에 있는 3층의 주름에 의해서 이루어진다. 첫째로, 가장 윗쪽에 있는 피열후두개 주름(aryepiglottic fold)으로서 갑상피열근의 가장 윗쪽 부분이 들어 있다. 이 근섬유들의 수축에 의해서 후두개가 밑으로 구부러지며, 앞쪽의 틈과 뒷쪽의 틈은 각각 epiglottic tubercle과 피열연골에 의해 막히는 최상층의 기도 폐쇄가 일어난다.

두번째의 기도 폐쇄는 가성대(false vocal folds) 부분에서 일어난다. 후두개실(laryngeal ventricle)의 지붕에 해당되는 가성대에도 갑상피열근의 근섬유가 있으며, 상후두신경의 자극에 의하여 반사적으로 양쪽 가성대가 막혀서 기도 폐쇄를 일으킨다. 가성대는 약간 아랫쪽을 향하고 있어서, 후두 상부의 이물질이 후두 하방으로 못들어가게 하는 작용 보다는, 기도 내의 가래나 잘못 흡입된 이물질을 기침이나 재채기에 의해 제거하기 위하여, 가성대를 닫았다가 터뜨리는 일을 주로 담당하고 있다.

셋째로, 가장 아래에 있는 성대(true vocal folds)에서 일어나는 반사적 기도 폐쇄인데, 이것은 상후두신경의 직접적 자극 이외에 여러가지의 감각적 자극에 의해서도 일어난다. 예를 들면, 대부분 뇌신경의 afferent nerve나 특수 감각신경의 자극이나, 척수에서 나오는 지각 신경의 자극에 의해서도 성대 폐쇄를 일으킨다. 성대는 선반 모양으로 생겼으며 다소 윗쪽 방향을 향하고 있고, 갑상피열근의 아랫쪽 대부분으로 이루어져 있으며, 위에서 언급한 자극 들에 의하여 매우 강력한 반사적 기도 폐쇄를 일으키며, 흡인현상(aspiration)을 방지하기 위한 가장 강력한 방어층의 역할을 한다.

반대로 이 성문폐쇄반사가 너무 과도하게 유발되는 현상도 있는데, 이를 후두경련(laryngospasm)이라고 하며, 성대 부위나 성문상부의 심한 자극에 의해 유발되며, 장시간 동안의 강한 성문 폐쇄를 일으킨다. 전신 마취 시에 간혹 후두경련이 유발될 수 있는데, 적절한 처치를 하지 못할 경우, 상당한 위험에 빠질 수도 있으므로 주의를 요한다.

## 2. 호흡 통로로서의 기능 (Function as the respiratory tract)

1949년에 Negus는 횡격막(diaphragm)의 하강으로 공기가 폐로 흡입되기 직전에 성문이 열린다는 보고를 하였다. 1969년, Susuki 와 Kirchner 는 이 현상을 일종의 호흡 현상이라고 보고하였는데, 연수의 호흡중추의 직접적인 조절에 의한 것이라는 것을 밝혀 냈다. 또한, Suzuki 와 Kirchner는 호흡의 흡기 시에 성문의 면적을 넓히려고 주기적으로 나타나는 이 현상은 반회신경의 주기적인 작용 때문이라는 것을 알아냈으며, 횡격막신경(phrenic nerve)과 유사하게 호흡장애로 인하여 혈 중의 탄산가스 분압이 높아지면 이 현상이 강화되고, 반대로 과호흡 시에는 약화된다는 것도 알아냈다.

이 후두 호흡기능의 주 작용은 후윤상피열근(PCA muscle)에 의하여 일어나는데, 호흡 주기 중 흡기 시 마다 주기적으로 후윤상피열근의 수축이 유발되어 성대를 외전시킴으로써 성문의 면적을 넓히는 것이다. 이러한 현상이 일어나야만 되는 이유로는 위에서, 설명

한대로 성대가 이물질이 기도로 잘못 흡인되는 것을 막기 위하여, 약간 윗쪽을 향한 선반 모양을 한 벨브의 역할을 하므로, 공기 흡입 시에도 성대가 열려주지 않으면 공기 흡입에 저항을 줄 수 있기 때문이다.

후운상피열근 이외에, 호흡기능을 하는 또 하나의 근육은 운상갑상근 (crico-thyroid muscle)이다. 운상갑상근은 평상 호흡 시에는 별로 호흡 작용이 없으나, 상기도 폐쇄가 있거나, 심호흡 시에는 이 근육이 호흡 주기의 흡기 시와 때를 맞추어 주기적으로 수축하는 것을 알 수 있다. 운상갑상근이 수축하면 성대는 길이가 길어지고 약간 내전하게 된다. 그러나, 성문의 면적을 삼각형으로 생각할 때, 후운상피열근의 수축은 성대의 외전을 일으키므로 삼각형의 밑변을 증가시키는 것이고, 운상갑상근의 수축은 성대의 길이가 길어지게 하므로 삼각형의 높이를 높게 하는 것이므로, 결국 두가지 다 삼각형의 면적, 즉 성문의 면적을 넓히는 것이 된다. 또한, 이 두가지의 근육이 함께 수축하면 삼각형의 밑변과 높이를 함께 증가시키므로써, 성문의 넓이를 최대한으로 넓힐 수 있는 것이다.

### 3. 발성 기능 (Function of phonation)

# Larynx has four primary functions in speech

- 1) Direct flow of air from the lungs into an alternating on-off flow
- 2) Fundamental frequency control
- 3) Intensity control
- 4) Voice quality control

사람의 목소리는 성대의 진동에 의하여 성대음이 발생되며, 하인두로부터 입술까지의 발성 통로(vocal tract) 및 비강에서 조음(articulation) 과 공명(resonance)되어 만들어 진다. 목소리를 구성하는 여러 주파수의 소리 중, 양측 성대의 주기적인 여달힘에 의해 생성되는 성대음이 가장 기본이 되는 주파수인데, 이것을 기본주파수(Fundamental frequency, Fo)라고 한다.

기본주파수란 바로 그 목소리를 낼 때의 성대의 진동 수를 의미한다. 과거에 Husson에 의해 제기되었던 Neuro-chronaxic theory는 성대의 진동 수는 반회신경에 의한 후두

내근의 수축 수와 일치한다는 주장이었으나, 이 학설은 틀린 것으로 밝혀졌다. 왜냐하면, 사체의 후두를 떼어내서 성문을 좁게한 상태로 공기를 통과시키면, 소리가 유발되는 것이 입증되었기 때문이다. 현재에는 Aero-dynamic theory 가 정설로 인정되고 있다. 양측 성대가 내전된 상태에서 폐로부터 나오는 호기가 성문의 좁은 통로를 지나면서 소리가 유발된다는 학설이다.

성대를 닫히게 하는 힘으로는 성대 자체의 탄성과 좁은 공간에 빠른 유속이 생겼을 때 발생하는 음압, 즉 베르누이 현상(Bernuilli effect)에 의한 성대의 닫히고자하는 힘이 있다. 한편, 발성 시에 성대를 벌여지게 하는 힘으로는 호기에 의해 발생하는 성문하호기압(Expiratory subglottic pressure)이 있다. 발성 시에 성대를 벌여지게 하는 힘이 성대를 닫히게 하는 힘 보다 커져서 성대가 열렸다가, 반대로 성대를 닫게하는 힘이 더 커지게 되면 성대가 닫히는 현상이 주기적으로 생기므로 성대음이 발생되며, 이것이 목소리의 기본주파수를 형성하는 것이다.

# Myoelastic-aerodynamic theory of phonation (van den Berg, 1958).

- 1) The vocal folds are adducted to within 3 mm of each other by the action of the LCA and IA muscles.
- 2) Air is forced through the vocal tract from the lungs.
- 3) The folds are sucked together in accordance with Bernoulli's aerodynamic law.
- 4) When the folds have been sucked together, the flow of air from the lungs continues but the flow through the glottis ceases. The air pressure beneath the folds rises.
- 5) When subglottal pressure is greater than the medial compression of the folds, the folds are blown apart (lateral displacement) and a puff of air is released into the supraglottal cavities.
- 6) The subglottal pressure falls.
- 7) Since the folds have been put in an almost adducted position by the adductor muscles, they seek to return to their position at the beginning of the cycle by way of tissue elasticity of the folds.
- 8) A second cycle begins.

20- 30 대 정상 성인 남자가 보통 크기, 보통 높이로 모음을 발성할 때의 기본주파수는 약 110-150 Hz 정도이며, 여자의 경우, 200-250 Hz 가량된다. 그러나, 높은 소리를 내거나 노래를 할 때에는 상당히 높은 주파수를 낼 수 있다. 기본주파수의 높낮이를 결정하는 역할을 하는 것으로는 1) 성대의 질량(mass), 2) 성대의 긴장도(tension), 3) 진동에 관여되는 성대부분의 길이(length), 4) 성문하호기압(subglottic pressure) 등이다.

Hirano의 후두에 대한 조직학적 연구 보고에 의하면, 성대의 몸체(body)를 이루는 갑상피열근(thyro-arytenoid muscle)과 conus elasticus는 발성시에 계속 내전된 상태로 남아 있는 반면에, 그 위에 놓여 있어서 덮개(cover) 역할을 하는 점막과 점막고유층은 발성 시에 생성되는 압력 변화에 주기적인 울동운동을 일으켜서 성대음을 유발시킨다는 Body-Cover theory를 주장하였는데, 현재 정설로 인정되고 있다(그림 2).

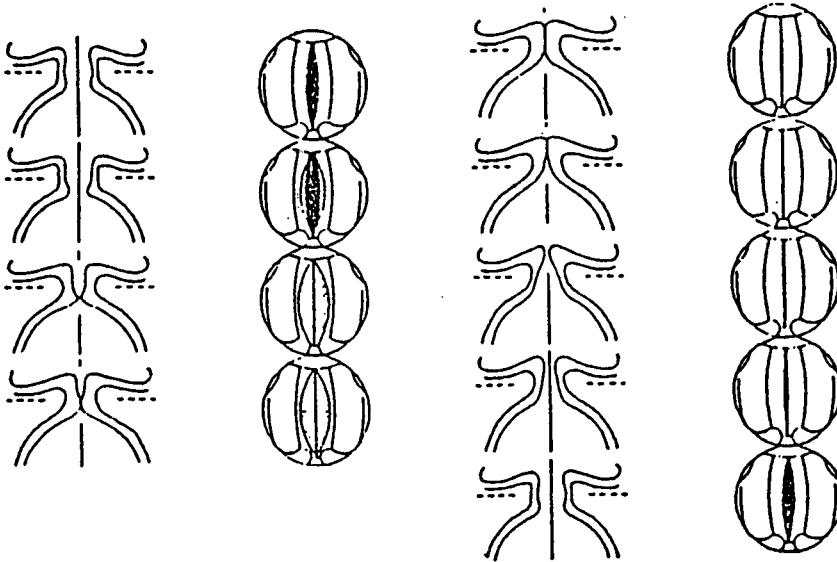


그림 2. 정면(왼쪽 축)과 윗쪽(오른쪽 축)에서 관찰한 발성시의 성대의 움직임 (Hirano: Clinical Examination of Voice. Wien, New York, Springer 1981).

# Larynx and fundamental frequency

- 1) Laryngeal muscle tension: longitudinal tension --- CT & TA  
(PCA, IA)  
mediolateral tension --- LCA & IA  
vertical tension ---sternothyroid; dec.  
genioglossus; inc.
- 2) Subglottic pressure:  
6-7 cm H<sub>2</sub>O increase ---> half an octave raise

# Larynx and intensity

- Increase intensity;
- 1) greater laryngeal muscle tension
  - 2) a longer closed phase
  - 3) greater subglottic pressure
  - 4) greater air flow

Low and medium pitch --- mainly greater laryngeal m. tension

High pitch --- mainly increased push from the lungs

# Larynx and voice quality

Whispering

Vocal register: falsetto

modal

vocal fry or creaky voice

Glottal stop

## 4. 흉강 고정의 기능 (Fixation of the chest cavity)

복압을 증가시켜야 할 때, 예를 들면, 역도 선수가 역기를 들 때, 임산부가 아이를 분만하려고 배에 힘을 줄 때, 대변을 볼 때 등의 경우에는 흉강을 밀폐된 공간으로 만들어야만 복압을 증가시킬 수 있다. 흉강을 폐쇄시키기 위하여 후두의 주름이 이용되는데, 이 때 가장 중요한 기능을 담당하는 것은 가성대이며, 아주 세게 닫을 때는 성대도 강하게 내전되어 이중으로 막아준다.

## II. 후두의 미세 조절장치

(Laryngeal afferent systems and reflexogenic contributions to vocal fold control system by Barry D. Wyke, M.D.)

## A. Intrinsic Modulatory Reflexogenic Systems.

## 1. Subglottic mucosal reflexogenic systems

corpuscular mechanoreceptor가 subglottic mucosa 에 존재함.

## 2. Myotatic reflexogenic systems

## 3. Arthrokinetic reflexogenic systems

Crico-arytenoid, crico-thyroid joint의 capsule에 corpuscular mechanoreceptor가 존재함.

## B. Extrinsic Modulatory Reflexogenic Systems.

## 1. Pulmonary reflexogenic systems

## a. Stretch-sensitive nerve endings

interalveolar connective tissue에 존재

## b. J-receptors

unmyelinated nerve ending으로서 pulmonary alveoli의 wall에 있음

## c. Irritant receptors

## 2. Cochlear reflexogenic systems



III. 후두의 생리학적 검사법(Methods for laryngeal physiologic studies)

1. 후두의 근전도검사 (Laryngeal EMG)
2. 생체 발성모형을 이용한 검사(In Vivo Canine Laryngeal Model)
  - 1) Subglottic pressure measurement
  - 2) EGG (Electroglottography)
  - 3) PGG (Photoglottography)
  - 4) Acoustic waveform
  - 5) Velocity
  - 6) Tension measurement
  - 7) Mucosal wave speed measurement
3. Data acquisition and analysis using a personal computer and A/D board

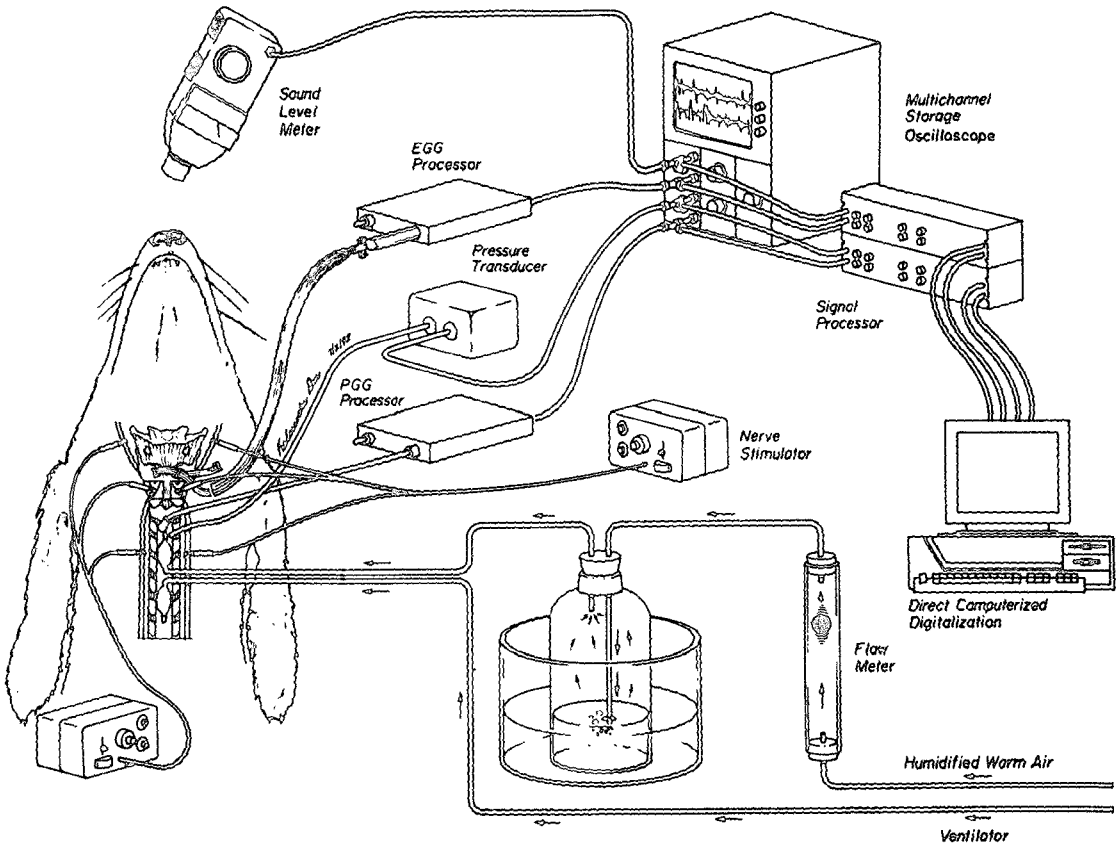


그림 4. 생체 발성모형의 system set-up 과 컴퓨터를 이용한 자료의 처리 과정.

## IV. 후두에 발생하는 질환 (Diseases in the larynx)

1. 선천성 후두 질환
2. 염증성 후두 질환
3. 후두 외상
  - 1) 외인성 후두 외상
  - 2) 내인성 후두 외상
4. 성대 마비 또는 신경계 후두 질환
5. 종양양 양성 후두 병변
  - 1) 성대 결절
  - 2) 성대 폴립
  - 3) 라인케씨 부종 등
6. 양성 후두 종양
  - 1) 유두종
  - 2) 성대내 낭종
  - 3) 혈관종 등
7. 악성 후두 종양

## V. 음성수술(Phonosurgery)에 대하여

어떤 원인에 의해서든지 음성에 이상이 생긴 경우, 수술적인 처치로 음성 개선을 도모하는 수술 방법들을 통털어서 음성수술(phonosurgery)이라 한다.

1. 후두 미세 수술 (Laryngomicrosurgery)
2. 레이저 후두 미세 수술
3. 성대내 주입술
4. 갑상연골 성형술
5. 신경재식술
6. 피열연골내전술
7. 후두전적출술 후 음성재활술
8. 후두이식 등