

CURRICULUM VITAE

진 성 민

1988년	고려대학교 의과대학 졸업
1992년	고려대학교 이비인후과 전공의 수료 및 전문의 취득
2000년-2001년	Dept. of Otolaryngology, Univ. of Iowa health and cares & National Center for Voice and Speech 연수
2001년-2012년	성균관대 강북삼성병원 이비인후과장 역임
2005년-2014년	대한 후두음성언어의학회 재무, 학술, 교육, 총무이사 역임
현재	성균관의대 이비인후과 교수, 대한 후두음성언어의학회 부회장



Professional Care of the Professional Voice

- Voice of the Laryngologist -

강북삼성병원 이비인후과

진 성 민

1. 후두의 구조와 기능 (Laryngeal structure and function)

후두(larynx)는 주로 연골로 이루어진 골격, 근육과 점막으로 덮여 있는 섬유 탄성막으로 이루어져 있으며, 복잡한 해부학적 특성을 가지고 있다. 원시후두는 호흡과 음식물의 흡인을 방지하여 기도 보호를 주목적으로 하는 단순한 수축과 이완 기능만을 가지고 있었다. 그러나 시간이 흐름에 따라 진화하여 이러한 주기성 외에 발생기능을 부수적으로 가지게 되었다. 따라서 후두는 목소리와 관계된 신체해부를 공부하는데 있어서 가장 중요한 부분으로, 목소리를 전문적으로 사용하는 사람들을 포함한 일반인들의 음성을 관리 하기 위해서는 후두의 해부학적 구조와 함께 각각의 기능에 대하여 이해하여야 한다.

후두의 골격을 이루고 있는 구조물로는 thyroid cartilage, cricoid cartilage, epiglottic cartilage, 그리고 쌍으로 이루어진 arytenoids cartilage, corniculate cartilage, cuneiform cartilage 등이 있으며 이들은 서로 관절 면을 이루면서 후두 외근(extrinsic m.)과 내근(intrinsic m.)에 의하여 전후방, 상하, 흔들림, 회전운동 등을 하게 된다. 이와 같은 후두근육 중 발생에 직접적으로 관계되는 후두내근의 운동에 관여하는 신경은 제 10 뇌신경(미주신경, vagus nerve)으로부터 분지 되어 나오는 상후두신경(superior laryngeal nerve)과 반회후두신경(recurrent laryngeal nerve)이 있다.

1) 후두 외근(extrinsic muscle)

a) Suprahyoid muscles

Hyoid bone 보다 위쪽에 위치하는 suprahyoid muscle들의 종류는 digastric m., stylohyoid m., mylohyoid m., geniohyoid m.이 있으며 이들은 각각 hyoid bone에 insertion하면서 수축 시에 후두를 위쪽으로 올리는 역할을 한다. 이 근육들에 추가로 hyoid bone과 혀의 내부 근육간에 연결되어 혀의 움직

임에 따라 후두를 올리는 데 관여하는 두 개의 근육이 있는데, 이들은 genioglossus m.과 hyoglossus m.이다.

b) Infrahyoid muscles

Infrahyoid m.들은 hyoid bone의 아래 쪽에 위치하는 근육들로서, 수축 시에 후두를 아래로 내리는 역할을 한다. 그 종류로는 sternohyoid m., sternothyroid m., omohyoid m., thyrohyoid m 등이 있다.

2) 후두 내근(intrinsic muscle)

후두내근의 종류는 cricothyroid m., thyroarytenoid m., lat. Cricoarytenoid m., interarytenoid m., post. cricoarytenoid m.이며, 이들 중 cricothyroid m.을 제외한 모든 후두 내근은 후두 골격 내부에 위치한다.

각각 후두 내근의 기능과 이들의 운동에 관여하는 신경에 대하여 간단하게 살펴보면 다음과 같다.

Cricothyroid muscle의 운동에 관여하는 신경은 superior laryngeal nerve의 external branch이며, 성대의 내전에 관여한다. Cricothyroid muscle이 수축하면 성대가 paramedian position에 위치하게 되고, 후두 내에서 성대의 level은 낮아지며, 성대 전체는 stretched, elongated, and thinned되고, 성대의 edge는 sharp해지며, 따라서 성대는 stiffened 된다.

Thyroarytenoid muscle (vocalis muscle)의 운동에 관여하는 신경은 recurrent laryngeal nerve이며, 성대의 adduction에 관여한다. Thyroarytenoid muscle이 수축하면 성대를 lowering, shortening, thickening시키며, 성대의 edge는 round해진다. Thyroarytenoid muscle이 수축할 때 성대의 body 부분인 muscular layer는 actively stiffened되는 반면 cover와 transition layers는 수동적으로 느슨해진다(passively slackened).

Lateral cricoarytenoid muscle의 운동에 관여하는 신경은 recurrent laryngeal nerve이며, 성대의 내전에 관여한다. Lateral cricoarytenoid muscle이 수축하면 성대를 adduction

and lowering 시키며, 성대 전체는 elongation and thinning 되고, edge는 sharp해진다.

Interarytenoid muscle의 운동에 관여하는 신경은 recurrent laryngeal nerve이다. Interarytenoid muscle은 주로 피열연골을 내전시키는데 관여하지만, 성대의 mechanical property에는 큰 역할을 하지 않는다.

Posterior cricoarytenoid muscle의 운동에 관여하는 신경은 recurrent laryngeal nerve이며, 유일하게 성대의 외전에 관여한다. Posterior cricoarytenoid muscle 수축하면 성대를 abduction and elevation 시키며, 성대의 길이는 elongation된다.

3) 성대의 미세구조

진동을 통하여 발성의 원음인 진동음을 만들어내는 성대는 조직학적 측면에서 살펴보면 epithelial layer, lamina propria layer의 superficial, intermediate, deep layer, vocalis muscle의 5개 layered structure로 구성되어 있다. 또한 운동 역학적 측면에서 보면 이러한 5개의 layer를 3개의 구역으로 나눌 수도 있는데, epithelium과 lamina propria layer의 superficial layer는 cover로, lamina propria layer의 intermediate layer와 deep layer는 transition 구역으로, vocalis muscle은 body로 구분할 수 있다. 이렇게 layered structure로 나누어서 살펴보는 데는 나름의 중요한 이유들이 있기 때문이다. 이는 각각의 layer들은 서로 다른 운동 역학적인 특성을 가지고 있을 뿐 아니라, 바깥쪽 4개의 layer들은 그 운동성이 수동적으로 조절되며, 가장 내부에 있는 vocalis muscle은 능동적 혹은 수동적으로 그 움직임이 조절 되는 차이점을 보이기 때문이다. 또한 성대에 발생하는 대부분의 병변들은 lamina propria의 superficial layer에서 시작된다는 점도 각각이 layer를 구분해서 살펴보아야 하는 이유이기도 하다.

각각의 layer들의 특징을 조직학적 관점에서 살펴보면 다음과 같다.

가장 바깥 쪽에 위치하는 epithelial layer는 성대의 모양을 유지하는 역할하며, 3가지의 epithelium으로 구분되어 있다. 성대진동 시 접촉이 가장 많이 이루어지는 edge부분은 nonkeratinized stratified squamous epithelium으로 덮여있으며, 그 위쪽과 아래 쪽으로는 respiratory epithelium인 pseudostratified ciliated columnar epithelium으로 덮여 있다. Lamina propria layer의 가장 외측에 위치하는 superficial layer는 극소량의 elastic fiber와 collagenous fiber가 들어있고 부드러운 gelatin 덩어리와 같은 구조로 되어 있다. 그 다음 intermediate layer는

주로 elastic fiber로 구성되어있으며, 부드러운 고무밴드와 같은 형태를 갖추고 있다. Deep layer는 주로 collagenous fiber로 구성되어있으며 면으로 된 실의 문치와 같은 형태를 갖추고 있다. Lamina propria layer의 intermediate layer는 성대의 앞쪽과 뒤쪽으로 갈수록 두터워져 있는 반면 superficial layer는 앞쪽과 뒤쪽으로 갈수록 얇아지는 구조로 되어 있다. 따라서 성대는 진동 시 membranous part의 중간 부분이 가장 유연한 (pliable) 상태를 보이는데, 이는 위치 때문이기도 하지만 그 구조적 차이 때문이기도 하다. 마지막으로 가장 내측에 위치하는 vocalis muscle은 딱딱한 고무 밴드 문치와 같은 형태를 갖추고 있다.

2. 호흡기관의 구조(Structure and mechanics of breath apparatus)와 노래발성에서의 호흡조절(breath management in singing)

폐(lung)는 성대와 성도(vocal tract)로 기류를 흘러보냄으로써 소리를 만들어낼 수 있는 힘을 제공하는 역할을 한다. 이와 같은 역할을 위해서는 우선 폐로 공기를 모으는 들숨작용 (inspiration action)이 이루어져야 하고, 적절한 폐압을 형성한 후 날숨작용(expiration action)을 통하여 성대의 진동을 유발하고, 성도에서 적절한 소리 값이 형성될 수 있도록 일정한 압력의 기류를 흘러보내야 한다.

들숨에 관여하는 주 근육은 횡경막(diaphragm)과 외늑간근(external intercostal muscle)이고, 그 외 대흉근(pectoralis major muscle), 소흉근(pectoralis minor muscle), 전거근(serratus anterior muscle), 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle) 등의 근육들이 보조적으로 관여한다.

조용하게 호흡을 할 때의 날숨은 대부분 팽창되었던 흉곽의 복원력에 의해 수동적으로 이루어진다. 그러나 성악발성에서 호흡에 대한 지지(support)를 위해서나 큰 목소리를 내어야 할 때와 같이 큰 압력이 필요한 경우는 능동적인 날숨(active expiration)을 위해 여러 가지 근육들이 작용하게 되는데, 주로 복부근(abdominal muscles; external and internal oblique, rectus abdominus, transverse abdominus)들의 수축작용으로 복압을 증가시켜 횡경막을 위로 밀어 올리고, 내늑간근(internal intercostal muscle)의 수축으로 흉곽을 압축시켜 높은 폐압을 형성하게 된다. 날숨작용에 관여하는 복부근들 중 외복사근(external oblique muscle)은 노래나 연극공연에서의 발성에서 호흡

을 지지하는데 가장 중요한 근육이다.

이와 같은 호흡과 관련된 근육들은 들숨과 날숨에 있어서 서로 다른 기능을 가지고 길항작용을 하고 있다. 이들 근육들은 서로 간의 길항작용을 통해 노래 할 때 한번에 쉼 다 빠져나갈 숨을 노래의 악구(period, phrase)가 끝날 때까지 숨이 남아있도록 도와 준다. 즉, 노래를 할 때 날숨 시 복부 근육의 작용으로 인해 급속하게 호흡이 몸 밖으로 빠져 나가는 것을 횡격막이 지탱을 하여 공기의 흐름이 조절하게 되는데, 이를 바로 '호흡 조절'이라 한다. 19세기 중반 Francesco Lamperti는 이와 같이 들숨과 날숨에 관여하는 근육들이 서로 적절한 평형을 이루면서 길항작용을 하는 호흡조절 과정을 발성적 항쟁(lotta vocale, vocal struggle)이라 설명하였고 이는 아포지오 형성을 위한 호흡법의 기본 과정이라 할 수 있다.

3. 성대의 진동(vibration of vocal fold)과 성도 공명(resonance of vocal tract)

1) 성대의 진동

성대 개폐에 따른 진동과정에 대해서는 폐로부터 나오는 공기의 흐름(air stream)과 성대 근육의 탄성도(elasticity) 및 긴장도(tension)에 의해 시작되고 변화되는 것으로 설명하고 있으며, 이러한 성대 진동에 대한 가설이 근탄력 공기역학 이론(myoelastic aerodynamic theory)이다.

이와 같은 성대의 진동이 시작되기 위해서는 닫혀있는 성대의 하연(lower lip)을 열어주기 위해 폐로부터 성대 쪽으로 밀어 올려주는 공기 압력이 필요한데, 이를 성문 하압(subglottic pressure)이라 한다. 일상적인 대화를 위해서는 7-10 cmH₂O 정도의 압력이 필요한 것으로 되어있고, 이렇게 충분한 성문하압이 형성되면 이에 의해 성대가 벌어지면서 성대의 접막 진동이 시작된다. 성대가 열리는 과정은 우선 성문하압에 의해 성대 유리연의 하연이 먼저 벌어지고 그 다음 상연이 벌어질 때까지 진동이 된다. 성대의 상연이 벌어지면 동시에 성대 하연이 닫히는 과정이 시작되는데, 이와 같은 성대 접막의 종적인 시간적 위상차에 따른 움직임(vertical phase difference)에 의해 성대 접막은 마치 파형과 같은 움직임을 만들어내며 진동을 하게 된다. 이때 성대 하연이 닫히는 과정은 베르누이효과(Bernoulli effect), 성문하 호기압의 감소, 그리고 성대자체의 탄성(elasticity)에 의해 시작되는 것으로 알려져 있다.

베르누이 효과 Bernoulli effect

베르누이의 효과는 18세기 스위스 수학자겸 물리학자인 베르누이가 발견한 것으로, 기체나 액체가 좁아진 공간을 통과 할 때 이들의 통과 속도가 증가할수록 이들이 흐르는 방향에 대해 수직 방향으로 압력이 떨어진다는 것이며, 다음의 수식으로 간단하게 표현할 수 있다.

$$P + 1/2 \rho v^2 = \text{constant}$$

(P: 압력pressure, v: 속도velocity, ρ:유체의 밀도fluid density)

2) 성도의 공명(resonance of vocal tract)

물리학에서 이야기하는 공명은 진동계가 자신의 고유 진동수와 같은 진동수를 가진 외부로부터의 힘을 받았을 때 그 진폭(amplitude)이 뚜렷하게 증가하는 현상 이라 정의 할 수 있으며, 이러한 주파수들을 그 진동계의 공명주파수(system's resonance frequency)라고 한다.

사람의 성도(vocal tract)에서도 성대에서 만들어진 성문음(glottal sound)이 성도를 통과하면서 특정 주파수들에 대해서는 공명과정을, 그 외의 주파수들에 대해서는 여과과정을 거치면서 입술이나 콧구멍 바깥으로 방출되어 말소리를 만들어 낸다.

사람의 성도는 성대 쪽은 막혀 있고 입 쪽은 열려 있는 일측 개방 공명관의 형태를 보이므로 성도의 공명은 이와 유사한 형태의 튜브에서의 공명현상을 관찰함으로써 설명할 수 있다. 일측 개방 공명관에서의 공명주파수들은 $F_n = (2n-1)C/4L$, $n=1, 2, 3, 4, \dots$ 의 수식에 따라 설명할 수 있는데, 여기서 F는 공명주파수, C는 공기 중에서 소리의 속도(340 m/sec)이고 L은 공명관의 길이를 의미한다. 따라서 성인 남자에서 성대 직 상방에서 입술까지의 거리가 약 17 cm이고, 그 단면적이 일정하다고 가정하면 $F_1=500$ Hz, $F_2=1500$ Hz, $F_3=2500$ Hz로 계산될 수 있다. 즉 성인 남자에서 제1음형대(1st formant)는 500 Hz에, 제2음형대는 1500 Hz에, 제3음형대는 2500 Hz에 형성된다는 것을 알 수 있다.

3) 모음(vowel)과 음원-필터 이론(source filter theory)

성대의 진동과 성도의 공명과정을 거쳐 입 밖으로 소리가 나와 실제 우리의 귀에 들리는 사람의 목소리는 상당한 음향학적 에너지의 변화를 거쳐서 나오게 된다. Fant는 성대에서 만들어진 원음이 성도를 통해 지나갈 때 성도의 크기와 모양에 따라

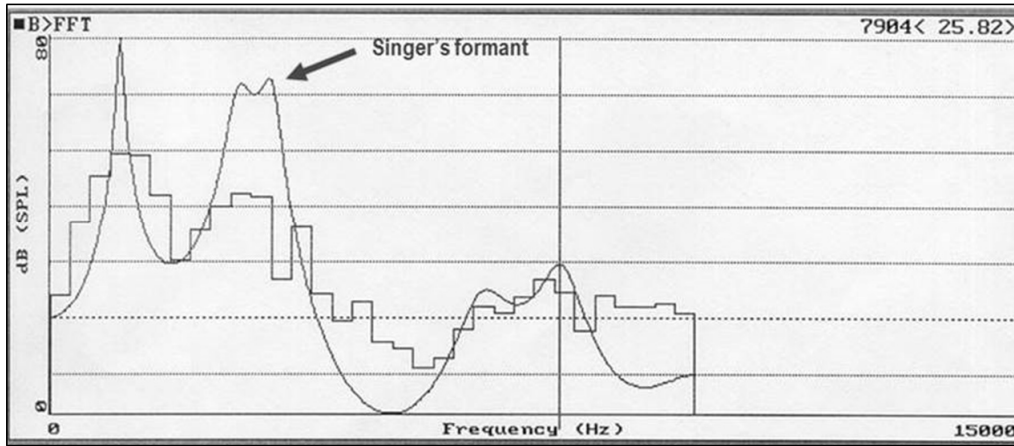


그림 2. Singer's formant.

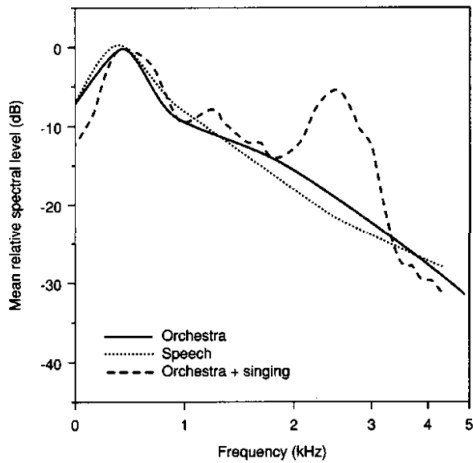


그림 3. Long term average spectra for voice and orchestra (Sundberg, 1987).

는 것으로 알려져 있다. Singer's formant의 중심주파수는 bass가 2.4 kHz, baritone은 2.6 kHz, tenor는 2.8 kHz, 알토는 3.0 kHz 주변에서 형성되는 것으로 알려져 있다. 그러나 soprano의 경우는 학자들 간에 약간의 이견이 있는데, Appelman은 soprano에서도 singer's formant가 3.2 kHz 주변에서 형성된다고 보고 하였으나, Sundberg는 soprano에서 보이는 소견은 singer's formant가 아니라 단순한 제3, 제4 포만트라 주장하였다.

그렇다면 어떻게 성악가들은 이와 같은 스펙트럼을 그들의 목소리에서 어떻게 만들어 낼 수 있을까 하는 점인데, 이는 바로 공명에 의한 것이라 말할 수 있다. 이 같은 공명현상을 설명하기 위한 노력이 아직도 계속 이루어지고 있으며, 아직까지 singer's formant가 형성되는 방법에 대해서 분명하게 밝혀진 바는 없

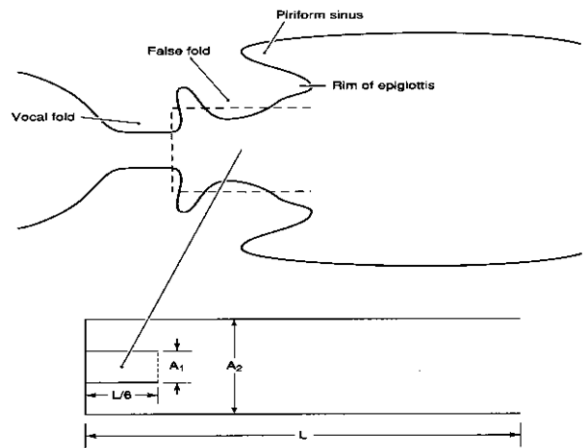


그림 4. Illustration of small quarter-wave resonator in a large quarter-wave resonator to produce vocal ring (the singer's formant). A1: exit area of epilarynx, A2: expanded area into the lower larynx, L: length of vocal tract.

나, Sundberg가 성도내의 후두 주변부에 위치하는 작은 공명기의 존재를 modeling을 통하여 설명함으로써, singer's formant의 형성에 대하여 증명하고자 하였고, Titze는 물리적 수식을 통하여 singer's formant의 형성여부를 증명하고자 하였다. Sundberg에 따르면 진성대로부터 후두개의 경개부 까지를 한 쪽이 막혀 있는 관으로 생각하여, 그 단면적과 이상화를 포함하는 하인두부의 단면적 간의 비를 6배 이상으로 만들어 줄 경우 singer's formant에 해당하는 공명이 이루어 졌다고 설명하였고 (그림 4), Titze는 한쪽이 막혀 있는 공명관에서 공명 주파수를 산출해 내는 공식 즉, $F=(2n-1)c/4 L$, (c : speed of sound in the vocal tract (350 m/sec), L : length of epilarynx tube (3

cm)을 이용하여 singer's formant의 형성을 설명하였다. Titze의 설명에서 보면 일반 성인 남자의 성도의 길이를 17 cm 내외라 볼 때, 이 역시 Sundberg의 1:6비와 같아서 1:6비가 2가지 양상으로 나타나는 것 같다고 하였다. 따라서 이들의 주장을 바탕으로 성악가들이 singer's formant를 만들어 내기 위해서는 발성 시 하인두부를 넓혀주고, 후두를 아래로 내려(또는 고정시켜) 성도의 길이를 길게 만들어 줌으로써 형성되는 것이 아닌가 하는 생각을 할 수 있다.

References

1. Borden GJ, Harris KS. Speech science primer. 2nd ed. Baltimore, London: Williams&Wilkins;1984. p.73-165.
2. Kent RD, Read C. The acoustic analysis of speech. 2nd ed. Canada: Thomson learning. 2002. P. 17-52.
3. Sundberg J. Vocal tract resonance. In Satalloff RT. The Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care. New York, NT: Raven Press; 1991.
4. Titze IR Principle of Voice Production, 2nd printing. (Iowa City: National Center for Voice and Speech, 2000).