

생리 음성학

- 성대 진동 이론과 모음 발성 -

손 한 (연세대 영문과)

1. 후두(The Larynx)

1.1 기능

1.1.1 생리학적 기능

- 허파에서 나오는 공기를 조절함.
- 밖에서 들어오는 이물질을 막아주는 역할
- 기관 속으로 들어 가는 이물질을 밖으로 내보내는 역할

1.1.2. 비생리학적 기능

- 발성

1.2 해부학적 구조

1.2.1. Hyoid Bone (1개)

목 바로 아래 수평으로 놓여진 뼈로 다른 뼈들과 직접 연결되어 있지 않음.

1.2.2. Thyroid Cartilage (1개)

성대를 보호하기 위한 방패 모양의 뼈

1.2.3. Cricoid Cartilage (1개)

성대가 놓여 있는 반지 모양의 뼈

1.2.4. Arytenoid Cartilage (2개)

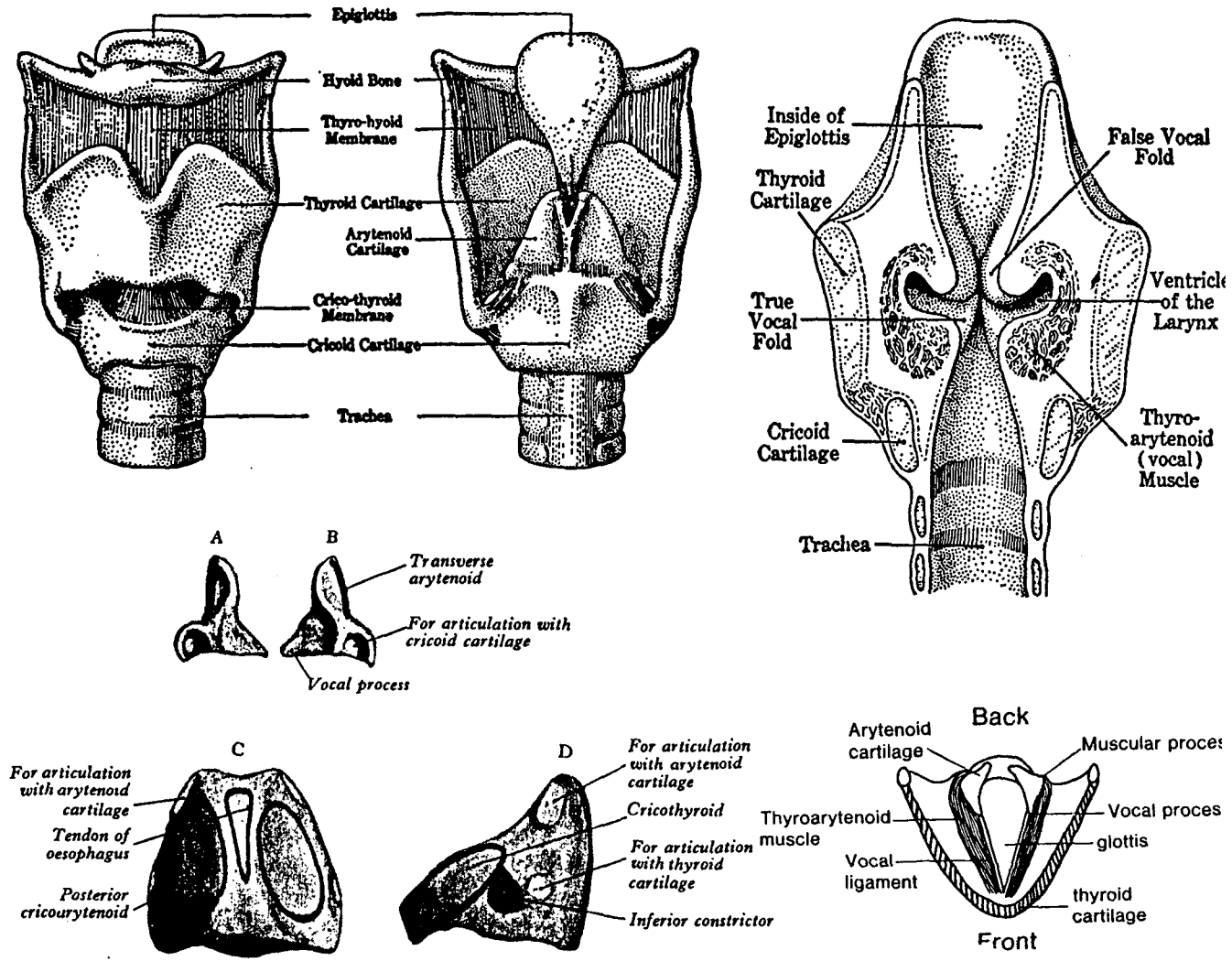
성대의 모양(굵기, 길이) 움직임(여단힘)을 관장하는 뼈
상하좌우로 움직임

1.2.5. Epiglottis (1개)

식도와 숨구멍에 대한 교통정리를 하는 탄력성이 있는 아주 유연한 주걱 모양의 뼈

1.2.6. Cuneiform Cartilage

Epiglottis 옆, Arytenoid Cartilage 바로 위쪽에 있는 뼈
발성과 직접적인 관련이 없음



1.3. 근육(Intrinsic Muscles)

1.3.1. Abductor Musculature

The Posterior Cricoarytenoid Muscle

한쌍으로 Cricoid 뒷쪽에 있으며 Arytenoid와 성대를 분리시켜 열게하는 역할을 함

1.3.2. Adductor Musculature

(1) The Lateral Cricoarytenoid Muscle

양쪽 Arytenoid 곁에 붙어 있으면서 그 모양은 부채꼴로 되어 있음

Thyroid Cartilage 깊숙이 연결되어 있음

발성에 중요한 역할을 함

(2) The Interarytenoid Muscles

1) The Transverse Arytenoid Muscles

Arytenoid 측면과 뒷쪽을 감싸고 있는 수평으로 놓여있는 근육

Arytenoid를 가운데 방향과 윗쪽으로 움직이게 함

2) The Oblique Arytenoid Muscles

Arytenoid 뒷쪽을 대각선으로 감싸고 있는 근육으로 성대를 꼭 붙도록 함

1.3.3. Glottal Tensors

성대를 길게 하면서 팽팽하게 함

1.3.4. Glottal Relaxers

성대 길이를 조절하며 짧게 하는 역할을 함

2. 발성에 대한 이론(Theories of Voice Production)

발성에 대한 이론은 다각도에서 여러 측면에서 연구되었지만 크게 나누어 두 가지로 볼 수 있다. 그 하나는 목소리(vocal tone)가 성대 진동에 의해 어떤 모양으로 만들어지는가이고 다른 하나는 성대 진동 자체가 어떤 방식에 의해 이루어지는가 하는 문제이다.

2.1. 우선 성대 진동 자체가 어떻게 시작되며 어떤 원리에 의해 이루어지는가에 대해 검토해 보자.

2.1.1. Myoelastic-Aerodynamic Theory

이 이론은 성대가 공기 역학과 물리학적 원칙에 민감한 반응을 보이는 근육질로 이루어져 있기 때문에 성대 진동이 자동적으로 일어난다는 주장이다.

다시 말하면 허파에서 시작된 공기가 기관을 통해 흘러 나오다 탄력이 좋은 유연한 성대에 막혀 압축되다가 터져 나오는 순간 자연적으로 성대가 진동한다는 설명이다.

따라서 진동수는 성대의 길이와 또 긴장도 부여(크기)에 의해 결정된다는 것이다. 이것뿐만 아니라 성대는 물론 성대를 둘러싸고 있는 다양한 모든 근육질도 진동수에 영향을 주고 있다고 본다.

이 이론은 최초로 주장한 학자는 Johannes Muller(1843)인데 초기에서부터 많은 호응을 받아 왔다.

그 이후 다른 학자들(Tonndorf(1925), Smith(1954))에 의해 부분적으로 수정되었지만 근본적인 변화는 없었다.

이 이론에 대한 보다 깊은 연구는 van den Berg(1958)에 의해 진행되었는데 Larynx 자체에 대한 깊은 이해가 돋보인다.

2.1.2. Neurochronaxic Theory

이 이론은 물리학자이면서 음성과학자로 잘 알려진 Raoul Husson이 제안한 것으로 새로 시작되는 진동은 뇌에서 전해지는 두 쌍의 미주신경의 연속된 충격이 성대에 전해지면서 시작된다는 것이다. 따라서 진동수는 aerodynamic이론과는 전혀 달리 성대로 전달되는 연속된 충격에 비례한다고 주장하고 있다.

앞의 두 이론은 근본적인 차이 때문에 서로 보완해주지 못하는 것이 특징이라 하겠다.

이 새로운 이론이 발표되자 여러 학자들이 다각도에서 검증을 해 보았으나 결국 성공을 거두지 못하고 말았다.

이 이론은 성대 근육이 대각선으로 중간 부분으로 향해 연결되어 있다는 사실에 근거하고 있다. 따라서 이 근육이 긴장하게 되면 성대가 분리된다는 것이다. 그러나 성대를 둘러싼 근육에 대한 깊은 연구 결과 신경이 곁들어 있는 성대 근육은 앞뒤로 진행되고 있으면 대각선으로 이어진 근육섬유는 성대에 연결되어 있지 않다는 사실이 밝혀졌다. 한편 고속 촬영술에 따른 연구 결과는 성대가 진동을 시작할 때 어김없이 성대의 움직임은 중심선으로 향하고 있다고 밝혀졌다. 또한 실제로 성대와 연결된 신경의 길이가 그 진행경로 때문에 왼쪽이 오른쪽에 비해 10cm 정도 길다고 밝혀졌다. 따라서 이 이론이 옳다고 한다면 성대 진동은 일어날 수가 없다. 왜냐하면 신경충격의 최대 전달 속도가 초당 10m이고 되풀이되는 충격의 비율은 초당 500이기 때문에 자연히 왼쪽 성대에 전달되는 충격은 오른쪽에 비해 1mm second정도 늦을 수 밖에 없다. 이 말은 한 쪽 성대가 열린 위치에 있을 때 다른 쪽은 반쯤 닫힌 위치에 있게 되어 성대 진동이 불가능해진다

는 것이다.(van den Berg(1597), Rubin(1960))

2.2. 다음으로 목소리가 어떻게 만들어지는가에 대해 살펴 보기로 하자.

2.2.1. Cavity-Tone Theory

목소리(vocal tone)가 어떻게 해서 어떤 원리에 의해 만들어지는가에 대한 학자들의 관심은 오래 전부터 시작되었다. 그러나 본격적인 연구로 이론으로 체계를 세운 최초의 학자는 Willis(1830)이라고 해도 별 무리는 없을 것으로 본다. Willis에 따르면 모음은 공명되는 원통의 길이에 의해 결정되는 cavity-tone이라고 주장하면서 이 이론을 내세웠다. 그리고 cavity-tone은 reed tone이나 fundamental frequency와는 무관하다고 주장했다.

그의 실험에 따르면 공명되는 원통의 길이가 길어지는데 따라 모음 i, e, a, o, u로 만들어진다는 것이다. 그리고 원통의 길이가 reed tone의 wave length의 배수가 되면 앞에서와는 반대순서이기도 하지만 그와 같은 순서로 소리가 난다는 것이다.

따라서 Willis는 Larynx는 단지 소리의 원료라 할 수 있는 공기의 흐름만 제공해 줄 뿐이지 모음의 소리는 구강의 공명에 의해 만들어진다고 주장한다.

이와 비슷한 주장은 Willis보다 약 40년 전 Kempelen(1791)에 의해서도 제기되었다. 그는 인공적으로 모음 발성관을 제작 실험한 결과 사람의 모음은 혀와 입술의 변형에 의해서만 만들어진다고 주장했다. 즉 혀와 입술의 변형에 의해 만들어지는 구강의 형태에 의해 모음이 결정되는 것으로 해석했다. (입술 벌림의 정도와 구강 내부와의 비례에 따라 모음이 결정된다고 봄) 그런데 Kempelen의 모음 발성관과 Willis의 것과 비교해 볼 때 소리의 근원이라고 할 수 있는 reed를 관에 부착시켜 관의 길이를 조절했다는 점에서 볼 때 후자가 사람의 발성기관에 훨씬 유사한 것이라 할 수 있다.

2.2.2. Harmonic Theory

이 이론은 Charles Wheatstone(1837)이 Willis의 이론에 따라 같은 실험을 한 결과를 토대로 수정 발표한 것으로 모음 발성에서 reed tone이 매우 중요한 역할을 한다는 주장이다. reed tone은 fundamental frequency의 많은 배음을 내포하고 있는 복잡한 특성을 갖고 있으며 우리 귀에 들리는 모음은 reed tone의 구성 요소 가운데 특징 있는 배음들의 영향 때문이라고 했다. 이와 같이 undamental frequency와 배음들의 관계를 기초로 설명하고 있기 때문에 Harmonic Theory라고 불리우게 된 것이다. 다른 학자들은 Overtone Theory라고도 한다.

이후 학자들은 양 진영으로 갈라져 서로 심도 있게 연구해 왔다.

Helmholtz(1862)는 Wheatstone의 실험을 재검토해 보면서 이와 유사한 실험을 해 본 결과 Wheatstone의 주장이 훨씬 합리적이라 주장했다. 그는 자신이 고안한 공명기재를 통해 모음의 복잡한 배음들 속에서 다양한 강한 배음을 들을 수 있었다고 주장했다. 그

는 우리 위의 내부구조도 함께 연구하면서 현재 Hearing이론의 하나로 정착된 resonance theory의 기초를 마련하기까지 했다.

이와는 달리 Hermann(1890)은 Willis의 Cavity-tone Theory를 옹호하면서 Harmonic Theory의 불합리성에 대해 다음과 같이 주장하고 나섰다. 즉 G1(49cps)음의 배음구조를 볼 때 reed tone의 28번째 배음이 되는데 이배음은 너무 약하기 때문에 공명통에서 아무리 증폭을 시켜도 들을 수가 없다는 것이다.

한편 Rayleigh와 Trandelenberg(1896)는 모음소리를 광범위하게 분석하여 앞의 두 이론이 서로 보완적인 점이 있다고 설명하면서 각각은 나름대로 장점이 있다고 주장했다.

그러나 Scripture(1904)는 모음 발음에 대한 여러가지 실험연구를 통해 Willis가 주장한 Cavity-tone이론이 보다 타당한 근거가 있다고 설명했다. 즉 모음은 reed tone의 배음구조에 의해 결정되는 것이 아니라 구강의 형태에 따른 자연적인 공명에 의해 이루어진다는 것이다.

비교적 최종적인 종합연구라 할 수 있는 Fletcher(1929)는 두 이론 모두 장점이 있다고 결론지었다. 즉 두 이론의 차이는 모음이 발음될 때 일어나는 문제에 대한 근본적 개념의 차이가 아니라 단지 그 문제를 해석 기술하고 제시하는 방법이 달랐기 때문이라고 주장했다.

Cavity-tone이론이 갖는 장점은 모음이 실제 발음될 때 관계되는 모든 문제에 대해 보다 명확히 인식할 수 있도록 해 줌으로써 음성학자들에게 값진 정보를 제시해 주는 반면 Harmonic이론은 음성을 배음구조에 따라 분석해 줌으로써 공학자들에게 도움을 주고 있다고 결론지었다.

Fletcher의 결론과 같이 두 이론은 나름대로 타당한 근거를 갖고 있는 것은 확실하다.

역기서 overtone을 분석하여 Formant Frequency를 찾아내는 Sound Spectrum이 구강 내부의 혀의 위치와 입술 등굴과 관련이 있다는 사실을 볼 때 이 두 이론은 상호 보완적이라는 것을 알 수 있다.

이 사실은 모음 /ə/를 만드는 overtone 가운데 가장 특징 있는 것을 물리학적 공식에 대입해 봄으로써 Formant Frequency를 계산해 낼 수 있다는 데에서도 잘 알 수 있다. 그러나 fundamental frequency의 변화로 모음이 결정되는 것이 아닌 것은 너무나 확실하다.

$$\text{Frequency} = f, \quad \text{Time} = t, \quad \text{Distance} = d, \quad \text{Velocity} = v$$

$$f = 1/t, \quad t = d/v$$

$$\therefore f = 1/(d/v) = v/d$$

$$v = 1130 \text{ ft} \quad 1\text{ft} = 30\text{cm}$$

$$\text{wave length} = l * x$$

$$\text{성대에서 입술까지의 길이} = \text{성인 } 17\text{cm}$$

$$F1 = 33900/4l = 34000/(4 \cdot 17) = 500\text{cps}$$

$$F2 = 34000/(4/3)l = 150\text{cps}$$

$$F3 = 34000/(4/5)l = 2500\text{cps}$$

<References>

- Berg, Jw. van den, "Sur les theories myo-elastique et neuro-chronaxique de la phonation," *Rev. de Laryngol.*, (Bordeaux), 1954, 495-512.
- , "Subglottic Pressure and Vibrations of the Vocal Folds," *Folia Phoniat.*, 9, 1957, 65-71.
- , "Myo-elastic-aerodynamic Theory of Voice Production," *JSHR*, 1, 1958, 227-244.
- , and J. Moll, "Zur Anatomie des menschlichen Musculus Vocalis," *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte*, 117, 1955, 465-470.
- Fletcher, H., *Speech and Hearing*. Princeton, N.J.: D. Van Nostrand Co., 1929.
- Helmholtz, H. von, *On the Sensations of Tone*, trans. A. J. Ellis. New York: David McKay Co., 1912.
- Hermann, J., "Photographische Untersuchungen," *Pflüger's Archiv für die Geschichte Physiologie*, 74, 1890, 380.
- Kempelen, W. von, *Mechanismus der menschlichen Sprache*. Wien: 1791.
- Rubin, H. J., "Further Observations on the Neurochronaxic Theory of Voice Production," *Arch. Otolaryngol.*, 72, 1960, 207-211.
- Scripture, E. W., *Elements of Experimental Phonetics*. New York: Charles Scribner's & Sons, 1904.
- Wheatstone, C., *Westminister Review*, 1837, 27.
- West, R., "The Nature of Vocal Sounds," *QJS*, 12, 1926, 244-295.
- Willis, W., "On Vowel Sounds, and on Reed-organ Pipes," *Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, 3, 1830, 231.