

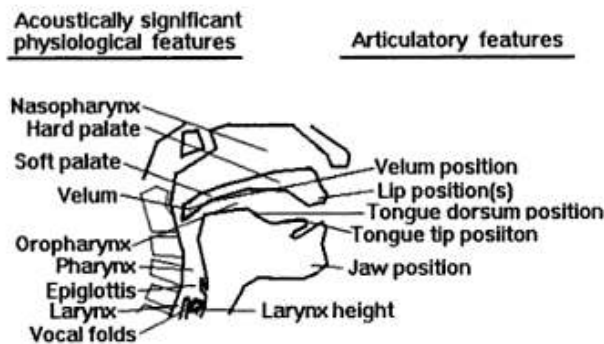
9. Voice Physics and Neurology

Perry Cook

9.1 Introduction

- 인간은 voice를 사용하여 추상적이고 복잡한 의미를 전달할 수 있음
- 발성 기관을 사용하여 다른 사람, 동물 등의 소리를 모방할 수 있음
- 동물의 이름을 울음소리로 표현하기도 함 (뼈꾸기, 속독새 등)
- fuzz, smooth, round와 같은 단어의 뜻과 발성, 느낌에 따라 사물의 이름을 부르기도 함
- 발성기관과 소리지각 혹은 음악적 표현은 밀접한 관계
- 생리적이고 신경학적인 접근으로 발성 기관과 소리의 인지에 대한 매커니즘을 연구

9.2 Voice Physiology



[그림 1] 인간 머리의 단면

: Acoustically significant physiological features(왼쪽)

: Articulatory features(오른쪽)

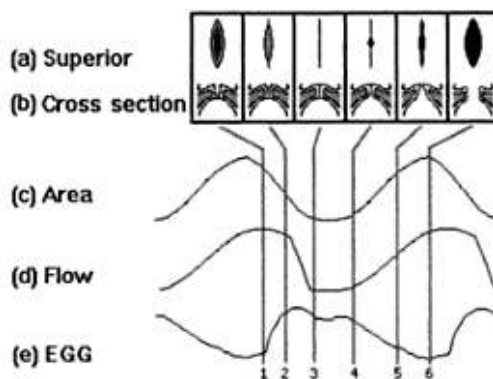


Figure 9.2 Various views of vocal fold vibration, with time proceeding left to right. (a) vocal folds from the top, looking down the throat; (b) cross section as viewed through the neck wall; (c) area of the vocal fold opening; (d) flow through the vocal folds; (e) Electroglottograph (EGG), which measures the electrical admittance between the vocal folds.

[그림 2] 시간 진행(왼쪽에서 오른쪽으로)에 따른 성대 주름의 진동

- 성대의 내전운동과 외전운동에 따라 성문이 열리고 닫힘
 - 내전운동(adduction) : 성대가 진동하여 성대가 닫히는 현상
 - 외전운동(abduction) : 폐가 숨을 내쉬어 성대가 열리는 현상

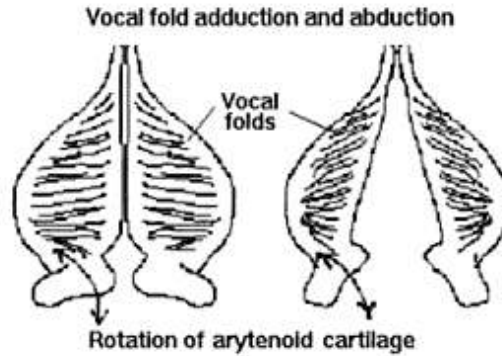
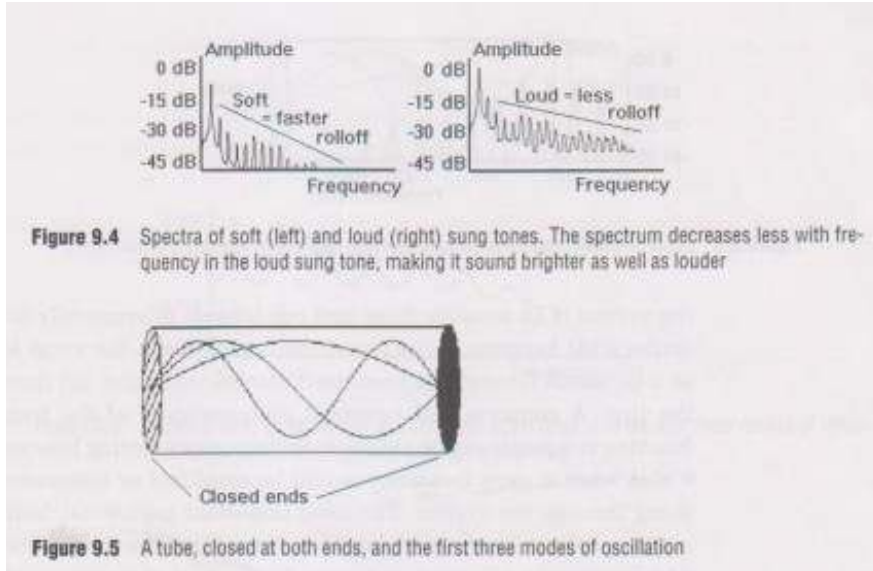


Figure 9.3 Rough drawing of the vocal folds, showing how the rotation of the arytenoid cartilage pulls the vocal folds together (adduction) and apart (abduction).

- 혀(tongue), 입술(lips), 턱(jaw)과 같은 기관은 인간이 컨트롤하기 쉽지만 velum(연개구), larynx(후두)와 같은 기관은 상대적으로 컨트롤하기가 쉽지 않음
- 연개구는 비강으로 들어가는 공기와 소리의 양을 조절
- 후두의 높낮이에 따라 성도의 길이가 변함 : 성도의 길이가 짧아지면 높은 음이, 늘어지면 낮은 음이 남
- 훌륭한 가수나 배우는 후두의 높낮이를 잘 조절하여 소리를 만들어 냄

9.3 Vocal Tract Acoustics

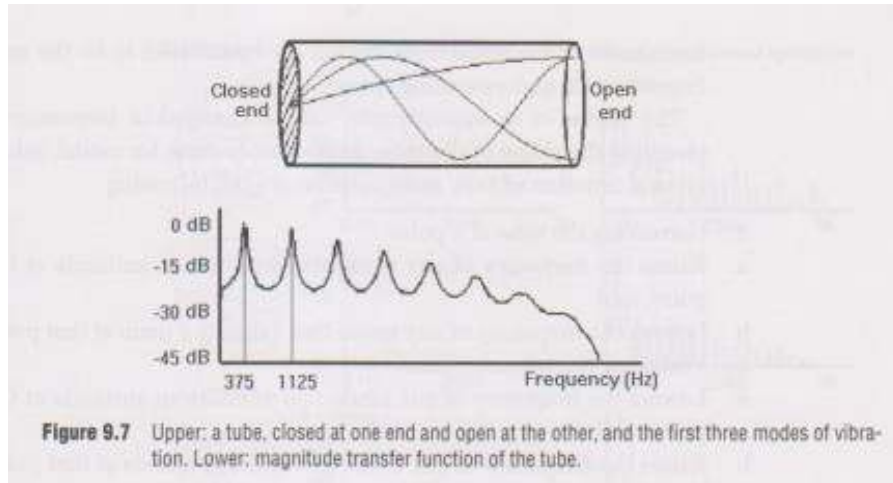
- 성대는 호흡의 압력에 의해 진동
- 성대가 닫혀 어떻게 떨리느냐에 따라 유성음 종류의 차이가 생김
 - 성대가 서로를 압박할수록 밝은 음색의 소리가 생성됨
- 일반적으로 큰 소리(높은 기류)일수록 밝은 음색의 소리가 생성
- 진동하는 현, 파이프, 튜브와 같은 것들은 mode 또는 favored frequencies를 가지고 있음
 - 양 쪽이 막힌 튜브 같은 경우에는 양쪽에 신호의 진폭이 0이 되는 node 지점이 형성되고 nodal pattern에 따라 mode가 달라짐
 - 양 끝이 열린 경우에는 anti-node로 형성됨
 - fundamental mode의 배로 배음 생성
 - $f_i = c/l/2$ (c = the speed of sound), (l = length of tube)



- transfer function
 - 모드를 분석하는데 사용
 - 시스템 안에서 신호가 이동하면서 어떤 일이 발생되는지를 묘사
 - 일반적으로 주파수별 세기로 많이 사용

- Formant
 - 소리가 성대에서 생성되어 성도를 거치는 과정에서 어떠한 일이 생기는지 묘사할 필요가 있음
 - 소리가 시스템을 거치면 특정 주파수는 강조되고 특정 주파수는 감쇄되는 현상을 보임
 - transfer function 시스템에서 modal resonance peak
 - acoustic tube의 modal frequency는 transfer function을 통해 낮은 에너지를 지닌 영역 사이에 우뚝 솟은 peak로 표현됨
 - 음고를 달리하여 소리를 낼 때 편안하게 소리를 낼 수 있는 주파수 부분이 modal frequency 혹은 peak 지점

- 성도는 양 쪽 끝이 성대(닫힌 부분)와 입술(닫힌 부분)로 이루어짐
 - 양쪽 끝 부분에 node와 anti-node 지점이 형성
 - fundamental mode의 홀수로 배음이 생성
 - $F_i = c/l/4$
 - l 을 9 inch로 계산할 경우 375Hz, 1125Hz, 2075Hz...가 modal frequencies가 됨
 - acoustic tube의 끝 지점의 상태에 따라 계산하는 방법을 longitudinal mode라고 함
 - longitudinal mode에서 고려할 점
 - a. 튜브의 길이가 너비의 넓이보다 긴지?
 - b. 낮은 주파수의 모드가 인지 가능한 영역인지?



- 성도의 모양을 변화시켜 modal frequency를 변화시킬 수 있음
 - vocal track filter : 성도가 음성 음원의 필터 역할을 함
 - 성도의 모양에 따라 음원의 스펙트럼 모양이 변화 됨
- 대부분의 경우 성도의 길이는 4-feet 이하
 - modal frequency가 실제 음성의 주파수보다 낮은 곳에 위치하고 있음 : 남성의 경우 약 100Hz 주변, 여성의 경우 약 150Hz 주변
- singer/speaker는 복잡한 소리를 낼 때 특정 주파수로 조절하는 것이 가능
- 마찬가지로 성도의 모양을 조절하여 다양한 음색의 소리를 내는 것도 가능

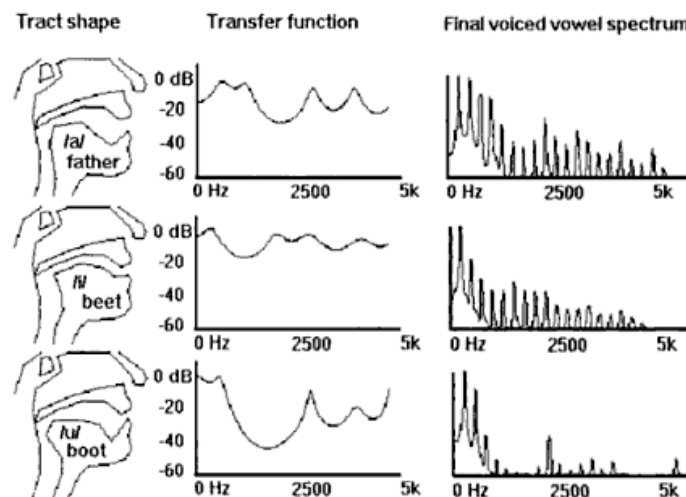


Figure 9.9 Three vocal tract shapes, transfer functions, and voice output spectra.

- human voice vs instruments like the clarinet
 - human voice
 - 본질적으로 어떤 주파수도 생성 가능하며 성도의 모양을 극도로 변화시켜 음색 조절 가능
 - 특정 모음의 어떤 임의의 주파수로 노래하는 것이 가능
 - instruments like the clarinet
 - 구멍을 막는 것을 달리해 악기의 resonant 구성을 달리 할 수 있으나 이에 따라 음고도 바뀜
 - reed source와 bore filter의 연결성이 강함

- nasalized sound
 - 연개구를 낮추면 또 다른 tube인 nasal passage가 열림
 - 이에 따른 공명 구조가 달라지고 그 결과로 비음이 생성
 - cancellation
- consonant
 - 대부분의 자음은 성대의 노이즈로 인해 생성
 - 성대의 특정 부분이 수축되면 난기류(turbulence)가 발생
 - 높은 주파수 영역대를 포함한 turbulence noise일수록 기류가 증가
 - /s/ 발음으로 테스트 : 숨을 강하고 약하게 한 후 혀의 위치를 조절하면 알 수 있음

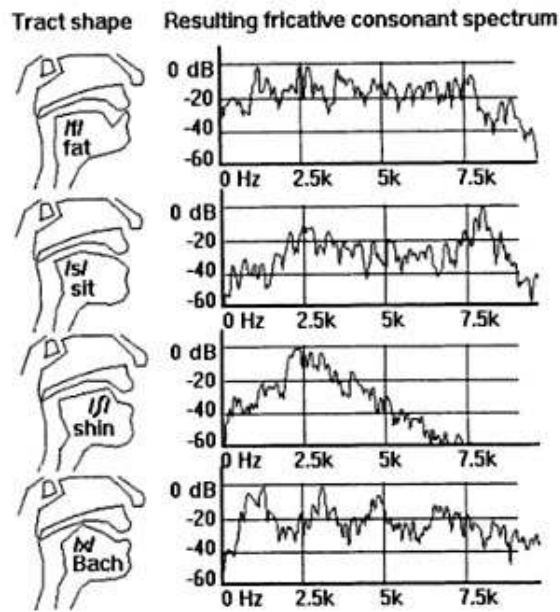


Figure 9.10 Vocal tract shapes and spectra for four unvoiced fricatives.

9.4 Voice System Neurology

- 언어를 담당하는 뇌의 영역
 - Broca's area : 전두엽에 위치
 - Wernike's area : 측두엽에 위치

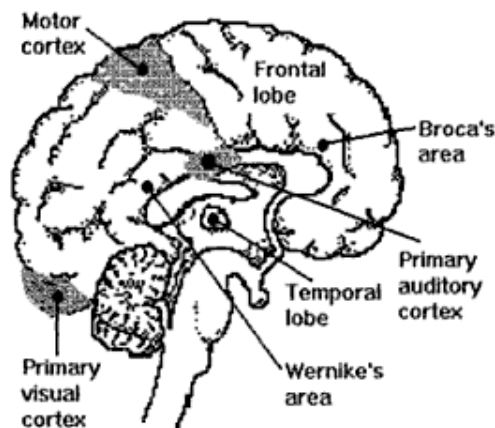


Figure 9.11 Areas of the human brain related to speech and language.

- 실어증 : 뇌 손상에 의한 언어 능력의 결함
 - Broca's area에 손상을 입을 경우 문법적인 언어 능력에 손상이 가지만 언어를 이해하는 능력에는 영향이 없음
 - Wernike's area에 손상을 입을 경우 언어를 이해하는 능력에 손상이 가지만 문법적으로 언어를 사용하는 것은 가능
 - 하지만 두 영역의 경계가 명확히 나뉘져 있는 것은 아님
- 영어나 일본어의 kana같은 표음식의 문자의 이해는 언어 능력 손상과 연관됨
- 중국어나 일본어의 kanji같은 표의적인 문자는 읽는 능력이 손상되어도 이해 가능
- 실음악증(음악을 생산하고 이해하는 능력의 손상)은 실어증과 차이가 있지만 하지만 연관성을 가지고 있음
 - 언어와 음악의 프로세싱은 서로 독립적인 이루어지나 밀접한 연관을 가지고 있음
 - 프랑스 작곡가 Maurice Ravel은 1932년 뇌 질병에 의해 실어증과 실음악증을 동시에 앓음
 - Maurice Ravel의 실어증이 더욱 심해졌으나 후에 작곡은 할 수 있었음
- 음악과 언어의 프로세싱에서 연관성을 발견할 수 있음
 - 가수가 친숙하지 않은 언어로 노래를 할 경우 기계적으로 공연할 수 있음
 - 노래가 말더듬이의 치료에 효과적으로 사용됨
 - 실어증을 앓고 있는 사람도 뇌가 손상을 입기 전에 알고 있던 노래를 부를 수 있는 경우가 있고 때로는 새로운 노래를 배울 수 있기도 함

9.5 Conclusion

- 음성을 사용하여 단어나 소리를 묘사하는 것이 모두 가능
- 음성이 음향적, 신경학적으로 어떻게 작동하는지 좀 더 연구할 필요가 있음