

소리의 특성 및 청지각기능에 대한 고찰

A Study on the Nature of Sound and the Hearing Mechanism

이 정 학* · 김 진 숙**
(Junghak Lee · Jinsook Kim)

ABSTRACT

The hearing mechanism is a complicated system. Sound is generated by a source that sends out air pressure or power. The pressure or power makes the sound waves. These waves reach the eardrum, or tympanic membrane, which vibrates at a rate and magnitude proportional to the nature of the sound waves. The tympanic membrane transforms this vibration into the mechanical energy in the middle ear, which in turn converts it to the hydraulic energy in the fluid of the inner ear. The hydraulic energy stimulates the sensory cells of the inner ear which send neuroelectrical impulses to the central auditory nervous system. The passive perception of auditory information starts just here. The listener gives attention to the speech sound, differentiates the sound from background noise, and integrates his experience with similar sounds. The listener then puts all of these aspects of audition into the context of the moment to identify the nature of sound. This has a major role in human communication. This paper provides an overview of the nature and characteristics of sound, the structure and function of the auditory system, and the way in which sound is processed by the auditory system.

Keywords: hearing mechanism, sound wave, middle ear, inner ear

1. 서론

소리가 발생되고 감각기관을 통해 인지되기까지의 과정은 매우 짧은 시간이 걸리지만, 그 과정을 분석해보면 체계적인 물리적, 생리적, 심리적 작용 등이 복합적으로 필요하다는 것을 알 수 있다. 인간의 청각구조는 소리를 듣고 인지하는 감각기관일 뿐 아니라, 의사소통체계에 중요하고도 독특한 역할을 한다. 즉, 우리의 청각기관은 위험이나 주변상황을 파악하는 단서가 되는 환경음을 수용하는 동시에 언어와 같이 복잡한 음향적 구조를 가진 음성을 분석하고 들어야 할 언어에 의식적으로 집중할 수 있다. 동시다발적으로 발생하는

* 한림대학교 의과대학 이비인후과
** 한림대학교 의과대학 재활의학과

여러 가지 소리중, 언어를 가려내고 인지한 수용언어를 토대로 또 표현 언어를 구사하여 의사소통을 완성시키는데 기초역할을 하는 우리의 청각기관은 신비롭기까지 하다.

특히 1980년대 이후 귀의 내부에서 소리가 발생하여 외부로 방출되는 이음향방사(Otoacoustic Emission, OAE)가 탐지되면서 살아있는 청각기관의 기능을 좀 더 능동적으로 분석할 수 있는 계기가 되었고, 고루한 이론을 재조명하여 청각인지의 배일이 조금씩 벗겨지고 있다(Robinette and Glatcke, 1997). 그러한 신이론 등을 바탕으로 본고에서는 언어 및 음성연구에 필수적인 소리의 성질과 특성 등을 파악하고 그 소리를 듣는 청각기관의 구조 및 지각기능을 고찰하고자 한다.

2. 소리의 성질 및 특성

소리는 힘 또는 압력이 진동체를 움직일 때 발생된다. 이러한 진동은 소리를 전달하는 매개체를 구성하는 작은 입자들을 움직여 진동파를 형성하여 감각기관에 전달된다. 감각기관에 도달한 진동파는 감각기관의 여러 경로를 거쳐 비로소 소리로써 인지된다. 그러므로 소리가 존재하는데 필수적인 구성요인은 소리의 근원인 힘, 진동체, 매개체, 감각기관 등이다. 예를 들어 인간이 소리를 내고 듣는 과정을 살펴보자. 우선 말을 하고자 하면 힘을 주어 진동체인 성대(vocal fold)를 진동시키고 매개체인 공기의 입자로 진동파를 형성하여 청취자의 감각기관에서 소리로 인식된다. 소리는 탄성을 가진 어느 물체를 통해서도 전달될 수 있다. 탄성(elasticity)이란 힘이 가해지면 매개체, 즉 공기입자가 움직인 후 다시 제자리로 돌아오려는 성질이다. 상대적으로 관성(inertia)은 물체가 정지되어 있거나 운동하는 상태를 계속 유지하려는 성질이다. 이 두 가지 성질에 의해서 전달매개체의 구성원인 입자가 연속적으로 움직이고, 결국은 음파(sound wave)를 형성하게 된다.

소리의 진동파, 즉 음파는 주로 공기를 통해 전달되는데, 공기입자의 움직임은 탄성과 관성에 의해 움직인다. 공기에 존재하는 무수한 입자 중에서, 단 한 개를 생각할 때, 그 입자가 힘을 받아서 옆에 있는 입자에게 힘을 전달하기 위해 가까이 가게되어 입자간의 거리가 서로 가까워진 상태를 압축상(compression), 탄성의 힘으로 제자리로 돌아와 입자간의 거리가 서로 멀어진 상태를 희박상(rarefaction)이라고 한다. 이러한 희박상과 압축상이 교대로 발생할 때 교대상이라 하며 흔히 싸인곡선으로 표기하는데 이는 보이지 않는 음파를 가시적으로 묘사한 것이다(Minifie, 1994). 이 싸인곡선은 소리의 여러 가지 성질을 설명하는데 사용된다. 싸인 곡선은 하나의 압축상과 하나의 희박상으로 완성된 모양을 갖추는데 이를 싸이클이라 한다. 싸인곡선으로 분석할 수 있는 소리의 기본 단위는 물리적 단위이나 소리의 인지를 기본으로 하는 심리적 단위로도 구분할 수 있다(표 1참조).

1. 주파수(frequency)

주파수는 단위시간 1초 동안 발생하는 완성된 싸인곡선, 즉 싸이클의 수이다. 그러므로 단위는 초당 발생 싸이클의 수를 의미하는 "CPS(Cycle Per Second)"나 "Hz"로 표기한다. 인간의 가청영역은 20~20,000 Hz이고 20 Hz 이하는 초저주파음(infrasonic sound), 20,000 Hz 이상은 초고주파음(ultrasonic sound)이라 한다. 회화영역은 100~8,000 Hz이고,

그 중에서도 언어의 음소가 가장 빈번히 나타나는 주파수는 500~4,000 Hz이다. 회화영역 내 주파수별 음성에너지 및 명료도 구성비는 표 2와 같다.

표 1. 소리의 물리적, 심리적 기본단위

물 리 적	심 리 적
주파수(frequency)	고저(pitch)
강도(amplitude or intensity)	강약(loudness)
시간 또는 위상(time or phase)	장단(duration or rate)
복합성(complexity)	음색 또는 음질(timber or quality)

표 2. 회화영역내 주파수별 음성에너지와 음성명료도의 구성비.

주 파 수(Hz)	음 성 에 너 지 (%)	음 성 명 료 도(%)
100-500	60	5
500-1,000	35	35
1,000-2,000	3	35
2,000-4,000	1	13
4,000-8,000	1	12

기본주파수(fundamental frequency: Fo)는 발성기관이 조음할 때 발생하는 가장 낮은 주파수로 각개인의 기본주파수는 발성기관의 구조에 따라 다르다. 성인남성은 80~150 Hz, 성인여성은 160~250 Hz, 아동은 200~450 Hz이다.

2. 강도(sound energy/sound pressure/amplitude/intensity)

소리의 크기는 그 기준음압을 중심으로 변화량을 데시벨 즉 dB(decibel)로 표현한다. 이는 싸인곡선에서 진동입자의 최대 이동 거리를 뜻한다. 여기서 기준음압인 0 dB SPL(Sound Pressure Level)은 동력단위로는 10^{-16} watt/cm² 나, 10^{-12} watt/m² 이고 압력 단위로는 0.0002 dyne/cm² 나 20 μ Pa이다. 데시벨의 종류는 그 외, 정상청년의 역치로 청력 검사기의 기준단위인 dBHL(Hearing Level), 개인의 역치를 기준으로 하는 dBSL(Sensation Level), 소음측정에 사용되는 dBA, dBB, dBC 등이 있다.

소리의 강도와 관련된 동일강도곡선(equal loudness contour)은 1,000 Hz를 기준으로 각 주파수마다 sound field에서 양 귀로 동일하게 들리는 소리의 강도를 연결한 곡선으로 phon curve라고도 부르며 이 분야에 주창적인 연구를 한 연구자의 이름을 따서 Fletcher-Munson curve라고도 불린다. 이 그래프에 의하면 같은 소리의 음압을 각 주파수마다 들려주었을 때 인간이 인지하는 소리의 강도는 각 주파수마다 다르게 반응한다. 보통 정상 청력을 가진 인간은 2-5 kHz에서 가장 민감하게 소리에 반응하며, 고주파나 저주파로 갈수록 소리에 대한 반응이 더 둔감하다. 동일한 강도로 듣기 위해서는 보통 저주파수가 고주파수보다 더 많은 에너지가 필요하다.

3. 시간(time or phase)

완전한 한 싸이클의 진동을 발생시키는 데 걸린 시간을 뜻한다. 소리가 싸인곡선으로 묘사될 때, 진동입자의 순간적 위치를 각도, 즉 위상(phase)으로 표시하기도 하는데, 입자의 이동거리는 곧 시간의 표현방법일 수도 있다. 주파수(frequency)와 시간(time)은 물리적 역수관계이다.

4. 복잡성(complexity)

복합음은 순음이 아닌 소리로 1개 이상의 서로 다른 주파수와 강도 및 단계(phase) 등으로 나눌 수 있으며 푸리에분석법(Fourier analysis)에 의하여 수학적으로 처리할 수 있다.

표 3. 순음과 복합음의 예

소리 구분	규 칙 음	불 규 칙 음
순음(pure tone)	순음, FM, 피아노	
복합음(complex tone)	유성음	무성음, 소음

5. 고저(pitch)

기본 단위는 mel이고, 기준값은 1,000 mels(1,000 Hz, 40 dBHL)이다. 인간이 소리의 높이가 두 배로 높아졌다고 느끼는 값은 2,000 mels(2,800 Hz, 40 dBHL)이며 두 배 낮아졌다고 느끼는 값은 500 Mel(850 Hz, 40 dBHL)이다.

6. 강약(loudness)

기본 단위는 sone이고, 기준값은 1 sone(40 dBHL, 1000 Hz)이다. 인간이 소리의 크기가 두 배로 커졌다고 느끼는 값은 2 sones(50 dBHL, 1000 Hz)이며 두 배로 작아졌다고 느끼는 값은 0.5 sones(30 dBHL, 1000 Hz)이다.

7. 장단(duration) 및 음질(quality)

소리의 장단 및 음질의 표현은 심리학적으로 매우 주관적일 수 있다. 이중 음질은 여러 방식으로 표현되나 미 음향학회에서는 대체로 임상연구시 다음과 같은 종류로 구분하여 사용하고 있다. 여러 가지 음질의 예: light, delayed, rough, echoey, dry, balanced, natural, boomy, nimble, projected, metallic, ss-y, clean, trashy, edge, tinny, resonant, fresh, trebly, sharp, thick, cool, dull, nasal, distance, live, lucid, powerful, woody, dirty, heavy, weak, liquid, loud.

3. 외이(外耳, outer ear)의 구조와 기능

1. 이개(耳介, auricle)

이개는 외부에서 육안으로 관찰이 가능하고, 많은 사람들이 '귀'라고 지칭하는 부분으로, 음

파를 모으는 집음관으로써의 역할을 하며, 방향감각을 인지하는데 도움을 준다.

2. 외이도(外耳道, external auditory canal)

외이도는 이개에서부터 고막에 이르는 S자형 관으로, 정상성인에서는 길이는 25~35 mm, 내경은 7~9 mm이며, 보호작용과 음파를 고막 쪽으로 도입하는 역할을 한다. 외이도는 그 형성하는 기질에 따라 바깥쪽 1/3은 연골부, 안쪽 2/3은 골부로 구성되어 있다.

외이도는 음파에 대해 한쪽이 폐쇄된 공명관으로써 정상인의 경우 음압을 2,000~4,000 Hz 에서 약 15 내지 20 dB을 증강시키는데 이를 자연공명효과라 한다(Shaw & Stinson, 1983).

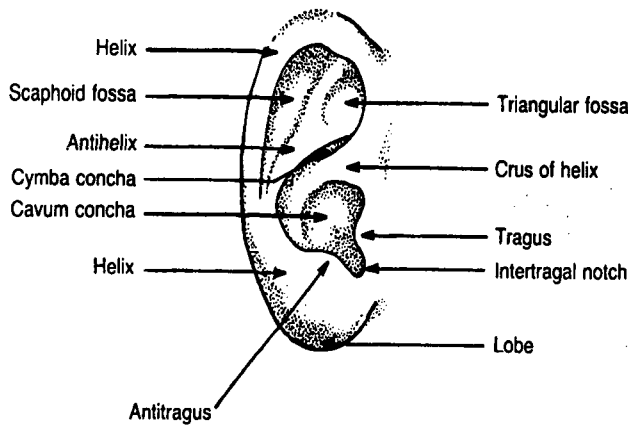


그림 1. 외이의 단면

4. 중이(中耳, middle ear)의 구조와 기능

중이는 측두골 내에 위치하며 크게 고막과 고실로 구분되고, 고실에 내재한 이소골, 이내근, 이관 등 모두를 지칭한다.

1. 고막(鼓膜, tympanic membrane, eardrum)

고막은 외이도와 고실 사이에 위치하는 얇은 막으로, 가로 9~10 mm, 세로 8~9 mm 크기에 두께는 약 0.1 mm 타원형이며, 14 mg 무게로, 반투명 진주양회백색(pearl-gray) 또는 담홍색 색조를 띠고, 음파를 잘 흡수하기 위한 원뿔모양을 하고 있다. 이와 같이 구조상 약해 보이지만 매우 강하고 탄력적이어서 평균적으로 약 1.6×10^6 dynes/cm² 정도의 압력(198 dBSPL)이 가해질 때 파열된다(Wever & Lawrence, 1954).

이경검사시, 건강한 고막은 전방으로 광추(光錐, cone of light)라는 광반사, 내측으로 약간 함몰된 모습과 가장 많이 내함된 중심부인 고막의 제(臍, umbo), 또 이 고막의 제에 부착한 추골의 일부를 관찰할 수 있다. 고막은 중이를 외부로부터 보호하는 방어벽인 동시에 고막에 전달된 음파의 진동을 충실히 이소골로 전도시켜준다.

2. 고실(鼓室, tympanic cavity, middle ear cavity, tympanum)

고실은 외이와 내이사이의 측두골에 위치하는 공기강이며 점막으로 덮여있고, 폭은 2~4 mm 좁고 불규칙적이며, 길이는 15 mm, 부피가 약 2 cm² 직육면체모양으로 상하, 좌우 및 내외의 6벽으로 이루어져있다.

상하 벽은 고실상와의 천장과 하와의 저부로 양쪽 모두 얇은 골판으로 구성되며, 전벽에는 고막장근의 건이 부착하는 시상 돌기(匙狀突起, cochleariform process)와 이관의 고실구(鼓室口)가 위치하며, 후벽에는 추체융기(pyramidal eminence)에서 등골근의 건이 나와 등골경부에 부착한다. 외벽은 대부분이 고막이며, 내벽은 내이와 경계하며, 내벽 중앙부에 외측으로 움기된 부분, 와우의 기저회전이 자리한 갑각(岬角, promontory)이 있고, 그 후상방에는 등골의 족판이 연결되는 난원창, 후하방에는 정원창이 위치한다.

3. 이소골(耳小骨, auditory ossicles)

고실내에는 이소골이라는 세 개의 뼈, 추골(椎骨, malleus), 침골(砧骨, incus), 등골(鎗骨, stapes) 등이 서로 연골접합으로 연쇄를 이루어 고막에서부터 난원창까지 연결되고 있으며, 이들의 주 기능은 소리의 진동을 내이에 효과적으로 전달하고 강한 음자극으로부터 내이를 보호하는 역할이다.

이소골 중 가장외부에 위치한 추골은 세 뼈중 가장 커서 길이가 약 7.5~8.0 mm이며 고막과 침골을 연결하는데 고막에 연결된 자루부분, 즉 추골병(椎骨柄, handle of malleus)이 이경검사시 관찰되는 추골의 일부이다. 침골은 추골과 등골을 연결하는 가운데 뼈로 크기도 중간이다. 등골은 신체중 가장 작은 골로써 전체높이는 약 3.3 mm이고, 침골과 내이의 난원창을 연결하는데 등골의 족판(足板, footplate)이 난원창에 부착되는 부분이다.

4. 이내근(耳內筋, auditory muscles)

이골연쇄에는 두 개의 근육이 추골과 등골에 각각 부착되어 있는데 이들은 강한음에 의하여 반사적으로 수축하여 내이를 강한음으로부터 보호하는 작용을 한다. 두 근중 더 긴 고막장근(鼓膜張筋, tensor tympani muscle)은 약 25 mm의 길이로 추골에 부착하고 하악신경의 지배를 받는다. 수축하면 추골을 전측, 내측으로 견인하여 고막이 내함하여 더 긴장하게 한다. 두 근중 반사적으로 수축하는 역할이 더 강하며 신체중 가장 작은 근육인 등골근(鎗骨筋, stapedius muscle)은 약 6 mm로 짧고 두터우며 등골에 부착하고 안면신경에 지배를 받는다. 이 근의 수축으로 등골은 후방으로 견인되어 고막을 팽팽시킨다.

두 이내근은 정상청력의 경우 70~100 dBHL 정도의 강한 음이 적어도 10초 이상 자극할 때 수축하게 되는데 이를 고실 반사(鼓室反射, tympanic reflex, acoustic reflex)라 하며, 큰 소리로부터 내이를 보호하는 역할을 한다.

5. 이관(耳管, auditory tube, eustachian tube)

이관은 고실의 전벽에서 시작하여 내하전방으로 내려가서 비인강 외측벽에 연결된다. 전체 길이는 35~38 mm이며, 크게 네 부분 즉, 골부, 연골부, 막부, 골부와 연골부의 접합부를 형성하는 협부등으로 나뉜다. 골부는 고실 쪽, 연골부는 비인강쪽에 자리하며, 연골부는 보통 폐쇄

되어 음식을 삼키거나, 하품 등의 구개운동으로 공기가 고실로 도입되어 내외기압의 평형을 유지하게 된다. 이와 같이 고막 안팎의 기압을 동등하게 유지시키는 기능 외에, 이관은 고실 내에서 발생하는 병적 분비물의 배설로로써, 또 고실의 환기로로써 역할을 한다. 어린이의 이관은 성인에 비해 내경이 넓고 전체적인 길이가 짧고, 수평적으로 위치하며, 협부의 형성이 미진하여 이관의 기능을 제대로 이행치 못하므로, 비강과 상기도로부터 염증이 쉽게 중이로 파급되는 경로가 된다.

6. 중이의 음향저항조절

외이도로 도입된 음파는 중이를 거쳐 내이에 도달하여 내이의 액체진동을 일으키게 되는데, 만일 중이가 없다면 음향 에너지는 저밀도 즉, 저저항의 공기 매개체에서 고밀도, 즉 고저항의 액체매개체로 직접 전도되어 대부분의 음에너지가 반사되어 소실된다. 중이는 이 음향저항을 조절하기 위하여 음압변환기로 작용하는데, 이는 중이가 음압을 효율적으로 증강시켜서 내이에 전달하므로 소실되는 음향에너지의 양을 감소시키는 것이다.

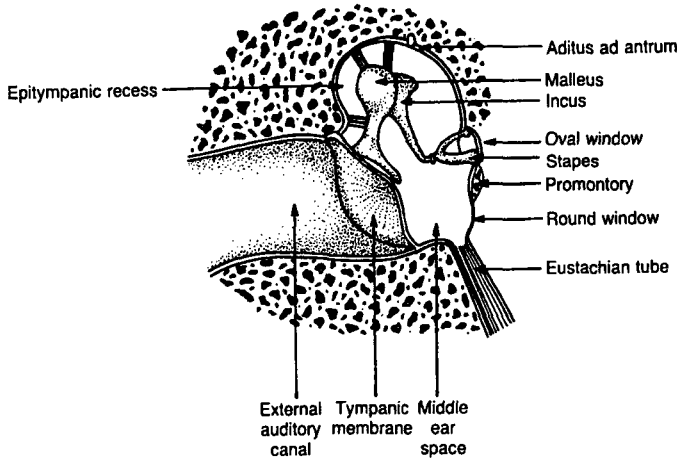


그림 2. 중이의 단면

중이는 구조적으로 이러한 역할을 수행할 수 있도록 되어있는데 세 가지 방법을 적용하여 음압을 증강시킨다. 첫째는 고막 유효면적과 등골 족판의 17 대 1의 면적차이다. 이 면적 비는 상대적으로 더 넓은 고막에서 도입된 음에너지가 훨씬 강한 에너지로 좁은 면적, 즉 등골의 족판에 집중되어 난원창에 전달되는 원인이 된다. 이 방법이 음향저항을 조절하는 요소 중 가장 비중이 크다. 비교적 적은 의미를 갖는 둘째는 이소골연쇄중 추골(추골병)과 침골(침골장각)의 길이차이로 지렛대효과를 들 수 있다. 음압은 길이가 더 긴 추골에서 도입될 때보다 짧은 침골을 벗어날 때 더 증강된 음압으로 변환한다. 가장 적은 효과를 기여하는 세 번째 요소는 고막의 원추형 모양 때문에 발생하는 집음 효과이다. 이러한 방법으로 음압은 고막에서보다 약 30 dB정도 증강되어 내이액으로 전달되는 첫 번째 관문인 난원창으로 전달된다(Khanna &

Tonndorf, 1972).

5. 내이(內耳, inner ear)의 구조와 기능

내이는 그 구조와 형태가 복잡하여 미로(迷路, labyrinth)라 불리며, 내부의 막미로와 이것을 둘러싼 골미로로 구분하고 전정(前庭, vestibule), 반규관(半規管, semicircular canal), 와우(蝸牛, cochlea)의 세 부분으로 구성된다. 내이는 혈액대신 림프액으로 영양을 공급받는데, 막미로에는 내림프액이, 골미로에는 외림프액이 흐른다, 내이는 평형과 청각기관으로 역할을 하며, 평형기능은 전정과 반규관을 합쳐 미로의 전정부에서, 청각기능은 와우부에서 담당한다.

1. 전정부(前庭部, vestibular labyrinth)

전정의 막미로는 서로 직각으로 위치한 난형낭(卵形囊, utricle)과 구형낭(球形囊, saccule)으로 구성되며, 그 내면에 감각신경세포로 이루어진 평형반(平衡斑, macula statica)이 있으며, 여기에 전정신경섬유의 종말부가 분포하고 있다.

반규관은 전정의 후상방에 위치하고 세 개의 반환상관으로 구성되며, 이들의 막미로와 골미로 부분은 동일한 형태를 취한다. 세 개의 반규관은 외반규관(外半規管, lateral semicircular canal), 후반규관(後半規管, posterior semicircular canal), 상반규관(上半規管, superior semicircular canal)으로 구분하며 서로 직각으로 공간에 위치한다. 각 반규관의 한쪽 끝에는 부풀어 오른 부위가 있어 이를 팽대부(膨大部, ampulla)라 하고, 그 내부에 팽대부릉(膨大部稜, crista ampullaris)이 있어 전정신경섬유가 종착하고 있다.

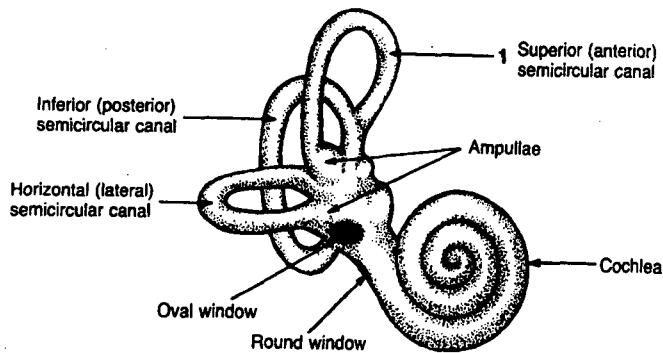


그림 3. 내이의 단면

2. 와우부(蝸牛部, cochlear labyrinth)

달팽이 껍질을 닮은 와우는 2.5회전을 하며, 이를 기저회전(基底回轉, basal turn), 중간회전(中間回轉, middle turn), 첨단회전(尖端回轉, apical turn)으로 구분한다. 외림프액이 흐르는 골미로의 와우부분, 즉 겉부분은 등골의 족판이 부착한 난원창(卵圓窓, oval window) 뒤의 전정

계(前庭階, scala vestibuli)와 정원창(正圓窓, round window)에서 시작되는 고실계(鼓室階, scala tympani)로 구분하고, 이들은 서로 와우의 첨단부에 위치한 헬리코트리마(helicotrema)라는 작은 구멍으로 교통한다.

와우의 안쪽이며 막미로인 와우관(蝸牛管, scala media, cochlear duct)은 전정계와는 레이스너막(reissner's membrane)으로 분리되고, 고실계와는 기저막(基底膜, basilar membrane)으로 분리된다. 와우관 외측벽 바깥쪽에 와우관을 떠 바치고 있는 나선인대(螺旋靱帶, spiral ligament)가 위치하고 그 안쪽 와우관 내에는 산소와 영양을 공급하고 내림프액을 생성하는 기관인 혈관조(血管條, stria vascularis)가 있다.

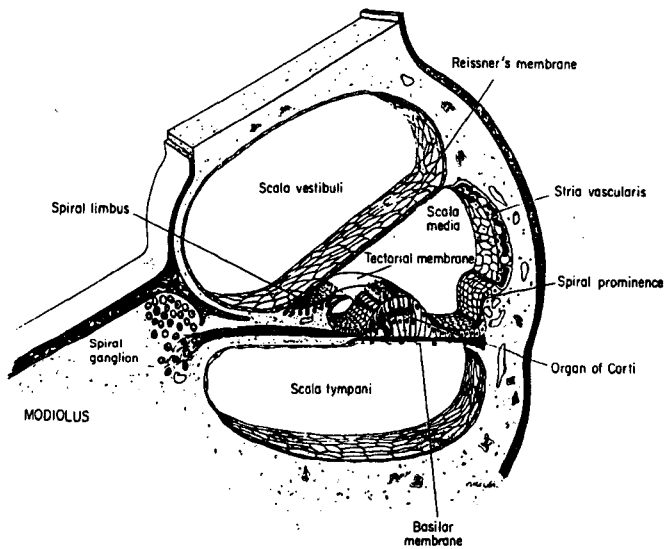


그림 4. 와우의 단면

와우는 와우의 골축인 와우축(蝸牛軸, modiolus)을 중심으로 하여 그 외부에 휘감겨져 있는데, 이 골축으로부터 감상모양의 골나선판(骨螺旋板, spiral lamina)이 나와 기저막의 저부의 내측 일부를 형성하여 청신경섬유를 전달한다. 기저막 위에 와우미로의 핵심적부위인 코르티기(organ of corti)라 불리는 와우감수기가 위치한다.

코르티기는 주세포간(柱細胞桿, rods of corti)에 의해서 코르티 터널(tunnel)이 형성되고 그 안으로 외림프액과 유사한 코르티림프가 흐른다. 주세포간 내측에는 한 줄로 내모세포(內毛細胞, inner hair cell)가 그 외측에는 3~4줄로 배열된 외모세포가 있으며 이들 모세포는 Deiter, Hensen, Claudius 세포 등으로 지주 된다. 모세포 위 부분에는 청신경섬유의 말단이 부착된 감각세포인 stereocilia가 있고 그 위를 젤 같은 개막(蓋膜, tectorial membrane)이 덮고 있으며, 외모세포의 stereocilia만 개막에 닿아 묻혀있다.

음향저항조절효과로 응집된 음 에너지가 등골의 족판을 통해 난원창을 내측으로 밀면 와우의 기저회전 끝 쪽의 외림프액이 움직이기 시작하고 파동을 통해 와우의 첨단부 쪽으로 전파된다. 이 외림프액의 파동은 정원창을 외측으로, 즉 중이 쪽으로 밀어낸다. 전정계의 파동은

레이즈너막을 통하여 와우관내의 내림프액을 통하여 기저막으로 전달되어 유사한 양상의 파동으로 진행파를 형성하게 된다. 이 진행파는 기저막을 위아래로 움직이고, 따라서 모세포가 움직이고, stereocilia가 구부러지게 된다. 이 stereocilia의 변형은 화학적 이온을 방출하고 신경 전달의 기본 에너지인 신경전기에너지를 창출하여 청신경으로 전달된다.

6. 내이신경 및 중추경로

와우에는 약 30,000개의 구심성 신경섬유(求心性神經纖維, afferent nerve fiber)와 약 1800개의 원심성 신경섬유(遠心性神經纖維, efferent nerve fiber)가 분포되어 있다. 각 내모세포에는 약 20개의 대부분 구심성 신경섬유가 공급되어있고, 대부분 원심성 신경섬유로 구성된 외모세포의 신경섬유 대 모세포의 비율은 1 대 10이다.

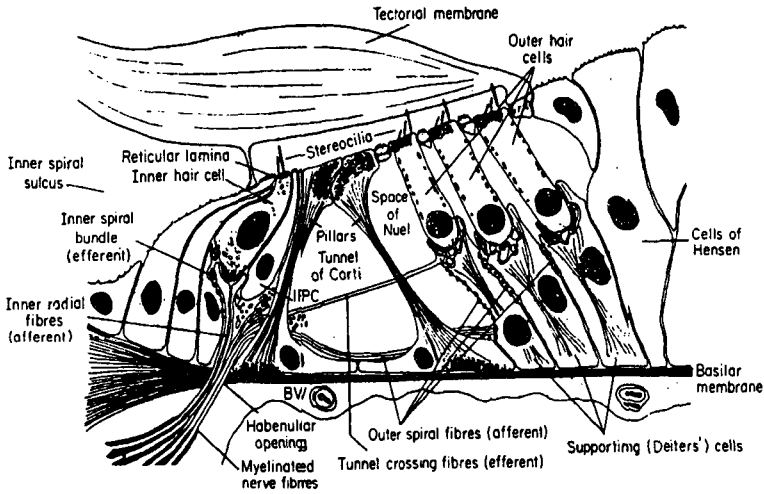


그림 5. 코르티기의 구조

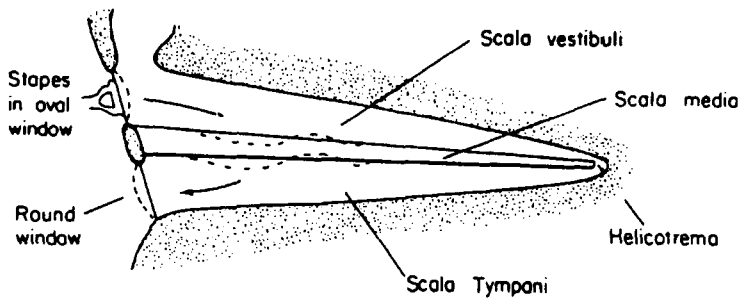


그림 6. 와우관을 펼친 상태에서 본 음 전달과정

구심성 신경섬유는 와우축을 지나 내이도내에 청신경 분지를 형성하여 중추경로로 들어간다. 내이도를 지난 1차 신경섬유는 일부는 와우핵중 배측핵(背側核, dorsal cochlear nucleus) 또 다른 일부는 복측핵(腹側核, ventral cochlear nucleus)으로 진행한다. 와우핵을 떠난 2차 신경섬유중 일부는 같은 쪽으로 다른 일부는 반대쪽으로 교차한다. 중추신경 진행 도중에 이러한 신경섬유의 교차가 여러 곳에서 발생하는데, 이 교차현상 때문에 한쪽 귀에 전달된 소리가 자극된 귀와 동시에 반대쪽 귀에도 전달된다. 중계된 2차 섬유 중 일부는 상올리브핵(superior olivary complex)에 연결되어 3차 신경섬유가 되어, 다른 일부는 2차 섬유 그대로 중뇌위(中腦位, midbrain level)에 위치한 하구(下丘, inferior colliculus)에 연결된다. 이어서 3, 4차 신경섬유가 되어 시상위(視床位, thalamus level)에 있는 내측슬상체(內側膝狀體, medial geniculate body)에 연결된다. 4, 5차 신경섬유는 상측두회전(上側頭回轉, superior temporal gyrus)의 배면에 위치한 최후 청각인지 수용기인 피질청각야(皮質聽覺野, cortical auditory area; Heschl's area)로 상행한다.

Rasmussen이 1967년에 발견한 원심성 경로의 역할은 아직 확실히 밝혀지지 않았으나, 청신경에 흥분과 억제 등에 관여하는 것으로 알려져 있다. 그 경로는 대뇌피질청각야(大腦皮質聽覺野, cortical auditory area)에서 시발하여 뇌의 여러 부분에서 종결되지만 대부분은 상올리브핵(superior olivary complex)을 거쳐 와우로 하행한다.

7. 청각의 원리 (Theories of hearing)

1. 구이론

1863년 Helmholtz의 공명설(resonance theory)이 최초의 체계적인 청각이론이라 할 수 있다. 공명설은 기저막의 횡 섬유(transverse fiber)가 음을 전달하는 공명체로서 역할을 하고, 침단부는 넓고, 저주파수 정보에 반응을 하고, 기저부는 좁고, 고주파수 소리에 반응을 한다고 설명한다. 그러나 기저막은 공명체의 역할을 하지 않는다는 사실이 von Békésy(1952)에 의해 밝혀지면서 새로운 진행파(traveling wave)이론이 대두되었다(von Békésy, 1960). 그 당시 노벨상까지 수상한 진행파 이론에 의하면 기저막의 진동양식은 빗줄의 한쪽 끝을 고정시키고, 다른 끝을 손으로 잡고, 상하로 진동시킬 때 그 빗줄에 전도되어 가는 파동 같은 일종의 진행파(traveling wave)로서 파동은 진행하며 점차 진폭이 증대하여 최대가 되고, 그 후 급속히 감소하여 소멸한다. 이 진동은 누적적(cumulative)이고 직선적이며 최대진폭부위는 자극음의 주파수에 따라 다르며 저주파수 소리는 와우 침단부에 가까이에서 비교적 넓은 폭으로 고주파수 소리는 와우 기저부 가까이에서 비교적 좁게 일어난다. 그러나 이 이론 역시 두 가지 난점에 의해 해석에 제약을 받고 있다. 두 가지 난점은 실험이 사체를 이용한 실험이었고 130 dB SPL의 고강도 음으로 측정된 것이다. 사체로 실험하였으므로 살아있는 와우의 기능과 차이가 있어 수동적으로 움직이고 또 고강도음은 와우의 기능을 왜곡시키기 때문이다. 이후 1978년 이음향방사(otoacoustic emission, OAE)의 측정으로 살아있고 역동적인 와우의 기능의 활발한 연구가 진행되고 있다.

그 외 와우는 주파수 분석을 하지 못하고 단지 소리를 중추신경계로 전달해주는 기관

이라고 주장한 전화이론(telephone theory)이 있고(Rutherford, 1886), 그 이론에 대한 뒷받침으로 신경섬유의 동시다발적 반응론을 제시한 배구이론(volley theory)이 있다(Wever & Bray, 1930). 언급한 이론 모두 청각각의 실체를 이해하는데 조금씩 도움을 주었지만 각 이론에 한계성을 내포하고 있어 정립된 이론으로 받아들여지지 못하고 있다.

2. 신이론

von Békésy(1952, 1960)의 진행파이론은 그 어느 이론보다 청각각 원리의 실체에 접근한 것으로 알려져 왔다. 그러나 와우기능에 대한 견해가 재조명되도록 돌파구 역할을 한 다음 두 가지 발견 때문에 최근 약 20년 동안 와우기능에 대한 연구가 활발하고, 그에 따라 소리에 대한 와우의 생리적 반응에 대한 이해가 변화하고 있다. 그 중 하나는 OAE의 발견으로(Kemp, 1978), 와우내에 소리의 자극에 능동적으로 반응할 수 있는 기능이 있다는 강한 증거를 제시하고 있다. 두 번째는 외유모세포의 동작성에 대한 발견으로(Brownell, 1983), 와우의 능동적 반응의 물리적 근원을 제시할 수 있게 되었다. 결론적으로 내이는 즉, 와우는 주파수 자극에 선별적이고 능동적으로 반응하며, 이미 정해져있는 청각시스템의 해부적 부위별 정보전달의 시발지역이다. 소리의 강도에 대한 와우의 역할은 서로 다른 강도의 소리를 다양한 청신경의 반응속도로 변환하여 입력되는 수많은 강도의 소리를 정교히 인지하도록 한다. 그러므로 음향적으로 분석하면 대단히 복잡한 소리 자극을, 와우는 주파수와 강도 및 시간 등으로 분류하고 스스로 능동적이고 선별적으로 자극을 재구성하여 중추신경계에서 제대로 인지하도록 중요한 역할을 한다.

결론적으로 와우에 대한 새로운 시각이 최근의 연구를 바탕으로 이루어졌으므로 와우에 대한 완전한 연구는 아직 시작단계일 뿐이다. 더구나 중추 청각신경계의 이해는 너무 미진하여 손상된 청각신경계의 재활이 그 어느 감각보다 뒤지고 있기 때문에 청각기관의 손상은 곧 의사소통의 손상으로 이어지고 있다. 따라서, 살아있는 세포 및 신경계의 연구에는 물론 많은 어려움이 있지만, 여러 연구자들의 관심을 환기시키는 바이다.

참 고 문 헌

- von Békésy, G. 1952. "DC resting potentials inside the cochlear partition." *Journal of the Acoustical Society of America*, 24, 72-76.
- von Békésy, G. 1960. *Experiments in Hearing*. New York: McGraw-Hill.
- Brownell, W.E. 1983. Observations on a motile response in isolated outer hair cells. In *Mechanics of hearing*. Edited by W. Webster & L. Aitkin. Clayton, Australia: Monash University Press.
- Helmholtz, H. L. F. 1863. Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. In *On the Sensation of Tone*. Edited by A. J. Ellis in English version, 1875. London: Longmans, Green.
- Kemp, D. T. 1978. "Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system." *Journal of the Acoustical Society of America* 64, 1386-1391.
- Khanna, S. M. & Tonndorf, J. 1972. "Tympanic membrane vibration in cats studied by

- time averaged holography." *Journal of the Acoustical Society of America*, 51, 1904-1920.
- Minifie, F. D. 1994. *Introduction to Communication sciences and disorders*. San Diego: Singular Publishing Group.
- Rasmussen, G. L. 1967. Efferent connections of the cochlear nucleus. In *Sensorineural Hearing Processes and Disorders*. Edited by A. B. Graham. Boston: Little Brown.
- Robinette, M. S. & Glattke, T. J. 1997. *Otoacoustic Emissions: Clinical Applications*. New York: Thieme.
- Rutherford, W. 1886. "A new theory of hearing." *Journal of Anatomy and Physiology*, 21, 166-168.
- Shaw, E. A. G. & Stinson, M. R. 1983. The human external and middle ear: models and concepts. In *Mechanics of Hearing*. Edited by E. de Boer & M. A. Viergever. Hague: Martinus Nijhoff.
- Wever, E. G. & Bray, C. W. 1930. "Action currents in the auditory nerve in response to acoustical stimulation." *Proceedings of the National Academy of Science*, 16, 344-350.
- Wever, E. G. & Lawrence, M. 1954. *Physiological Acoustics*. Princeton: Princeton University Press.

접수일자 : '99. 2. 19.

게재결정 : '99. 3. 22

▲ 이 정 학

서울시 영등포구 영등포동 94-200
 한강성심병원 이비인후과 난청클리닉(우: 150-030)
 Tel: (02) 639-5750 (O), Fax: (02) 678-2521
 e-mail: jhlee@sun.hallym.ac.kr

▲ 김 진 숙

서울시 서초구 잠원동 37-12
 논현빌딩 4층
 한림대학교 난청언어연구센터
 Tel: (02) 3446-2474 (O), Fax: (02) 3446-2475
 e-mail: jskim@sun.hallym.ac.kr