

임피던스 청력검사

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

정 명 현

Impedance Audiometry

Myung-Hyun Chung, M.D.

Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University, College of Medicine, Seoul, Korea

수중동물의 내이는 섬세한 장치를 갖춘 중이가 없더라도 물속에서 소리를 어렵지 않게 감지할 수가 있다. 이는 내이 속 매질인 림프액과 물속 환경이 같은 액체로 되어 있기 때문이며 따라서 에너지 전달율은 100%에 가깝게 된다. 그러나 진화과정을 거쳐 수중동물이 점차 육지로 진출하게 됨에 따라 임피던스가 낮은 공기 내에서 임피던스가 높은 내이로 소리를 효과적으로 전달해 주는 특별한 전달 장치가 필요하게 되었다. 이러한 상황 속에서 변압기에 해당하는 중이가 분화하게 되었으며

이로써 두 매질의 차이로 인하여 총 에너지의 0.1%만이 전달될 수 밖에 없는 상황을 극복할 수 있게 되었다.

중이의 음 증폭 작용기전은 다음과 같다.

1. Catenary lever : 곡면을 이루는 고막이 진동하면서 팽팽하게 퍼질 때 malleus에 전달되는 음압은 적어도 2배의 상승효과를 보인다 (curved membrane effect).
2. Ossicular lever : malleus handle과 incus long process의 길이 차이에 의한 지렛대 효과는 1.15 배의 증폭효과를 보인다.

Table 1. Summary of the concepts of the middle ear transformer action

Transformer component	Definition	Numerical value
Catenary lever	Force acting on tympanic membrane/force acting on malleus	2.0
Ossicular lever	Force acting on malleus/force acting on stapes	1.15
Areal ratio	Area of tympanic membrane/area of footplate	21.0
Total lever advantage	Force acting on footplate/force acting on tympanic membrane	48.3 (34 dB)
External ear condition		(15dB)
		total system gain=49 dB

KEY WORDS : Impedance audiometry · Tympanometry · Stapedial reflex test

3. Hydraulic lever : 고막과 등돌판 (stapes footplate)의 면적 차이에 의하여 21.0배의 증폭이 가능하다.

밀폐된 공간에서 진행되는 소리에너지는 새로운 매질을 만날 때, 일부는 이에 흡수되어 진행을 계속하고 나머지는 반사하게 된다. 즉 소리에너지의 총 합 (immittance)은 흡수에너지 (admittance)와 반사에너지 (impedance)의 합이라고 할 수 있으며 이 때 반사되는 에너지량은 진행되는 소리에너지가 만나게 되는 새로운 매질 상태에 따라 변할 수 있다. 즉 만나는 매질의 밀도가 높으면 반사되는 에너지의 양이 커지게 된다.

임피던스 청력검사란 이러한 현상을 이용하여 외이도를 밀봉한 상태에서 외이도내의 압력을 변화시키면서 특정 주파수 (frequency) 및 강도 (intensity)의 소리에너지를 줄 때, 고막에서 반사되는 음향에너지를 측정하는 검사이다. 즉 반사에너지를 측정 함으로써 중이강의 상태를 간접적으로 평가하는 검사라고 할 수 있다. 중이는 저항이 낮은 외이도에서 저항이 높은 내이로 소리에너지를 효율적으로 전달하도록 작동하는 곳으로, 이 곳에 병변이 생기면 고유 임피던스의 변화를 초래하게 될 것이다. 이를 검사하는 것이 바로 임피던스 청력 검사라고 할 수 있다.

정상적인 중이 구조물은 mass effect와 stiffness effect가 적절하게 작용함으로써 소리전달을 위한 최적의 상태를 유지하고 있으며 임피던스에 대한 물리학적 공식은 다음과 같다.

$$\text{Impedance} = F/V = \sqrt{R^2 + (2\pi fM - \frac{S}{2\pi f})^2}$$

(F: force, V: velocity, R: resistance, f: frequency, M: mass, S: stiffness)

중이가 공기로 채워져 있을 때에 저항 (R)은 "0"에 가깝게 되어 임피던스에 큰 영향을 끼치지 못하게 된다. 그러나 주파수 (f)가 높아짐에 따라 mass의 영향을 많이 받으며 낮은 주파수에서는 stiffness의 영향을 많이 받게 된다. 즉 중이내 mass를 증가시키는 요소는 고음장애를, stiffness를 증가시키는 요소는 저음장애

를 유발하게 되며 각각의 예는 다음과 같다.

* mass를 증가시키는 요소

고막비후 (tympanic membrane hypertrophy)

중이강내 액체저류 혹은 저류액체의 기질화 (MEE)

* stiffness를 증가시키는 요소

외이와 중이 사이의 기압 불균형 (E-tube dysfunction)

이소플 관절의 강직 (ossicular chain stiffness)

난원창 혹은 정원창의 강직 (Oval/Round window stiffness)

이소플 근육수축 (stapedius m. or tensor tympani m. spasm)

Mass 및 stiffness와 관련되는 병적 조건이 중이강에 있는 경우에 외이도에서 내이로의 에너지 전달은 비효율적이 될 것이며, 임피던스 청력검사를 통하여 이를 객관적으로 평가할 수 있다.

1. 임피던스 청력계기

임피던스 청력계기는 그림 1과 같이 구성되어 있다. 계기는 이전 (probe tip)을 통하여 외이도에 연결되는데 이전의 끝에는 부드러운 고무 cuff가 있어 외이도를 완전 밀폐시킬 수 있게 되어있다. 이전은 음향변환기 (acoustic transducer, probe system), 변압감지기 (measuring microphone) 및 압력계기의 압출구를 포함하며 음향변환기에는 probe tone (220 or 226 Hz, 660 or 668 Hz)을 발생시키는 oscillator가 연결되어 있어 고막운동성 계속시에는 220 Hz~85 dB SPL, 660 Hz~80 dB SPL, 1000 Hz~75 dB SPL의 음을 생성하도록 한다. 또한 등돌근 반사 역치 검사에는 250~6000 Hz까지의 순음을 최대 110 dB HL이상 생성하도록 한다. 공기필프는 외이도의 압력을 -400에서 +400 mmH₂O까지 변화시킬 수 있다. 이때 외이도의 압력 단위는 Pascal의 미세단위인 deca-Pascal (daPa)을 사용하기도 하며 (1 daPa = 1.02 mmH₂O) 압력변화는 보통 양압에서 음

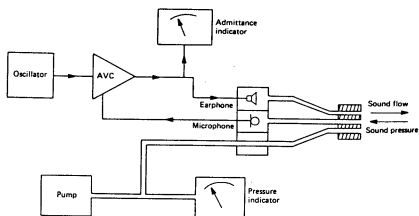


Fig. 1. A simple diagrammatic illustration of an immittance instrument AVC (automatic volume control)

압으로 이동하면서 부가한다. Oscillator에서 발생된 probe tone이 고막에서 반사되었을 때의 음에너지를 microphone에서 포착하여 이를 수치 (주로 voltage)로 나타내게 된다 (unit of admittance, 1 millimho (mmho) = 1 ml of air volume at 220 Hz).

2. 임피던스 검사방법

임피던스 청력검사에는 tympanometry, static compliance, stapelial reflex 및 stapelial reflex decay 등의 검사방법이 있다.

1) 고막운동성 계측 (tympanometry)

Probe를 통하여 single low frequency (220 or 226 Hz) 혹은 high frequency tone (660 or 668 Hz), 85 dB SPL을 주고 고막에서 반사되는 음에너지를 측정한다. 일반적으로는 low frequency tone을 많이 사용하고 있지만 high frequency tone은 일부 중이병변 (예, ossicular discontinuity, atrophic tympanic membrane)을 더 쉽게 발견할 수 있는 임상적 장점이 있으나, 저주파음은 고주파에 비하여 소리의 마찰저항 (R)이 안정되어 있으며 reactance (X)의 기여가 크다는 소리의 특성이 있다 ($Z \approx X$). 외이도 내에 공기필프를 통하여 +400에서 -400 mmHO까지 감소시키면서 압력변화에 따른 고막 compliance 변화를 연속적으로 그린 것을 tympanogram 이라고 한다. 이 때 고막 comp-

liance가 최고로 되는 때가 중이강과 외이도의 압력이 같아지는 점이 되며 고막운동도의 양상을 통해서 중이강내 압력, 고막의 운동성, 이소골 연쇄 상태, 외이도와 중이강의 최대 음향 전달 공명점 및 이관 상태를 확인할 수 있다.

tympanogram의 분류에는 저자들에 따라 다소의 변형이 있을 수 있으나 그 기본형에는 큰 차이가 없으며 외이도에 가한 압력 변화에 따른 dynamic compliance, peak compliance 압력점, static compliance 등에 의하여 분류한다. Peak compliance를 기준으로 할 때, 저자들에 따라 다소 차이가 있으나 일반적으로는 peak compliance 압력점은 정상 기압 근처에서 관찰되는 것으로 최대 -100 mmH₂O 이내에서 보이는 것을 A형, A형과 같이 고막의 움직임은 어느정도 유지가 되지만 peak compliance가 -100 mmH₂O 이하의 음압으로 이동된 것을 C형, compliance 변화가 없이 수평인 경우를 B형으로 분류하는 방법이 보편적으로 받아들여지고 있다. 또한 A형의 static compliance 높이에 따라 As (shallow), Ad (deep) 로 나누며 Jerger는 0.2~1.1 cc를 기준으로 분류한 바 있다. C형에서도 peak compliance의 음압 쪽 이동 정도에 따라 (-200 mmH₂O를 기준으로 하여) C₁, C₂ 및 static compliance 높이에 따라 Cs, Cd로 나누기도 한다. Peak가 2개인 경우

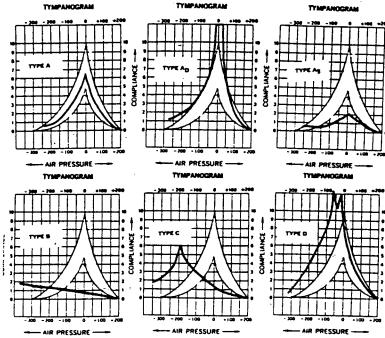


Fig. 2. Liden-Jerger classification

TYMPANOGRAM TYPES	VARIANTS
NL (NORMAL)	
HN-S (HIGH NEGATIVE PRESSURE)	
HN-g (HIGH NEGATIVE PRESSURE)	
TR-s (TRANSITIONAL)	
TR-g (TRANSITIONAL)	
EFF (EFFUSION)	
HP (HIGH POSITIVE PRESSURE)	

Fig. 3. Paradise et al's (1976) classification

는 E형으로 구분한다.

A형 : 최대 compliance (그래프의 꼭지점)가 -100에서 +100 mmH₂O 사이에서 관찰되는 것으로 중이강 상태가 정상임을 의미한다.

예, Normal, SNHL, otosclerosis

As형 : 최대 compliance는 A형과 같은 범위 안에 있으나 고막의 움직임이 적은 것으로 중이강의 mass 혹은 stiffness effect 증가에 의한다.

예, ossicular chain stiffening, otosclerosis, tympanosclerosis, middle ear effusion

Ad형 : 최대 compliance는 A형과 같은 범위 안에 있으나 고막의 움직임이 비정상적으로 증가된 것으로 ossicular disruption이 그 대표적인 예라 할 수 있다.

예, monomeric drum, drum atrophy, healed perforation

B형 : compliance의 최고치가 없는 경우로 중이강의 액체적류나 고막비후 등을 들 수 있다.

예, MEE or mass, thickened drum, impacted cerumen, tympanosclerosis

C형 : tympanogram의 peak가 -100 mmH₂O 이하에 있는 것을 의미한다.

예, retracted drum, middle ear effusion

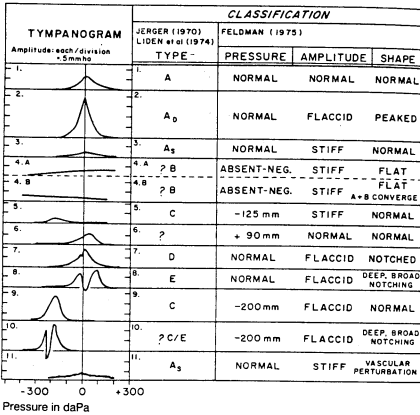


Fig. 4. Feldman's (1978) classification of tympanometric shapes

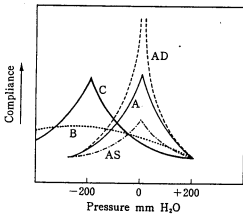


Fig. 5. Basic 5 types of tympanogram

E형 : 두 개의 peak를 가지는 것으로 "M" 혹은 "W"형의 굴곡된 notch를 갖는다. 특히 굴곡이 완만하여 양 끝 정점간 압력 차이가 큰 것을 E형으로, 굴곡이 peak compliance를 중심으로 예리하게 나타나며 양 끝 정점간 압력차이가 적은 것을 D형으로 나누기도 한다. E형

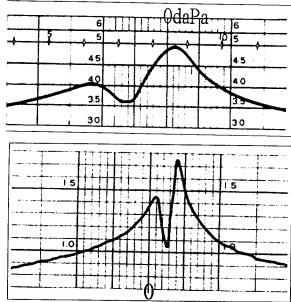


Fig. 6. E and D types (double notched peak)

은 ossicular discontinuity, post stapedectomy 후에 흔히 나타나며 특히 668 Hz의 고음을 이용하였을 때 자주 관

Table 2. Summary of diagnostic information available from the tympanogram

Pathology	Tympanometric characteristics (330 Hz probe tone)
Otitis media with effusion	Negative middle-ear pressure. Flattened, rounded shape
E-tube deficiency	Negative middle-ear pressure, occasionally positive after autoinflation
Patent E-tube	Pulsatile variation synchronous with respiration
Open perforation	Flat curve at high admittance value
Thinly healed perforation	Sharp high peak
Ossicular discontinuity	High peak, generally not so sharp as thinly healed perforation
Otosclerosis	Usually indistinguishable from normal
Sensorineural hearing impairment	Normal curve
Glomus tumor	Markedly pulsatile variations synchronous with heartbeat
Totally obstructed ear canal	Flat curve at low admittance value, or zero if the probe tube impinges on obstruction (or is blocked)
Tympanic membrane damped by wax, foreign body or debris	Flattened rounded shape, at normal middle-ear pressure (if normal E-tube function)
Palatal myoclonus	Irregular twitching in the admittance recordings
Osteogenesis imperfecta	Normal or high-peaked curve

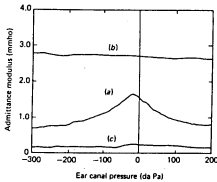


Fig. 7. Typical tympanograms for (a) a normal, (b) drum perforation, (c) blocked admittance meter probe

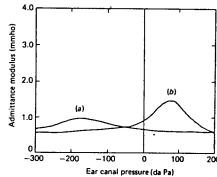


Fig. 8. Typical tympanograms showing (a) negative and (b) positive middle-ear pressure

찰된다. 226 Hz에서 나타나는 경우에는, 만약 외이도 용적과 중이강 압력이 정상인 상태라면 운동성 높음은 이완성 고막, umbo level까지의 삼출액 저류, 물방울이 고막의 외이도 면이나 중이강면에 맺혀 있을 때, 신생아 등에서 관찰되며, 외이도 용적은 정상이지만 중이강 압력이 음압쪽에 있으면 소량의 삼출액 저류에

에서 관찰될 수 있다. D형은 healed perforation, 중이 병이나 이소골 연쇄가 탈구 되었다가 자연 회복된 경우, 고막 표면에 귀지가 있는 경우 등에서 나타난다.

Clinical applications of tympanograms

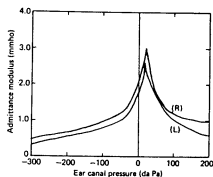


Fig. 9. Tympanograms for the Rt. and Lt. ears of otosclerosis. The hypermobility resulted from generalized thinning of tissues, including durm, as a part of the disease which is thought to be of mesenchymal origin.

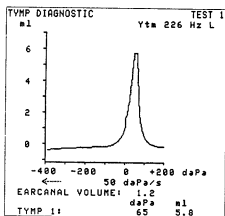


Fig. 12. Ad in case of ossicular disruption

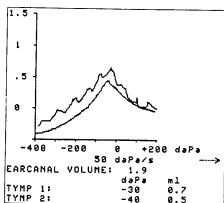


Fig. 10. Patulous E-tube. In this case, tympanogram with holding breath is needed.

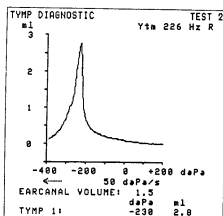


Fig. 13. Cd in atelectatic ear case.

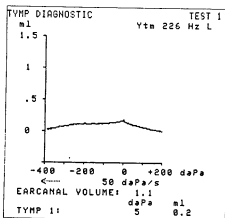


Fig. 11. As type in case of thickened drum

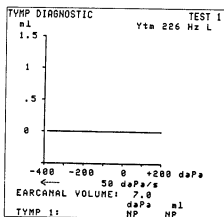


Fig. 14. drum perforation. note the increased ear canal volume.

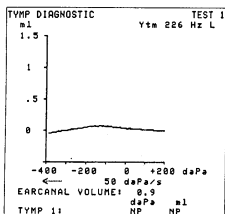


Fig. 15. Flat type tympanogram in middle ear effusion.

** Tympanometry는 중이 상태를 매우 민감하게 반영하는 검사로써 유용한 검사이지만 middle ear dysfunction과 tympanometry shape의 관계는 복잡하므로 반드시 이를 고려하여야 한다.

Otosclerosis : normal tympanometric pattern with 40~60 dB conductive HL

Monomeric durm : grossly abnormal tympanogram with normal hearing

MEE : tympanometric shape은 effusion 양과 관련이 있으며, effusion 양이 많아질수록 고막의 움직임이 flat에 가깝지만 일단 저류 삼출액이 umbo level을 넘어야 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다.

일단 tympanogram 상 peak가 있다는 것은 삼출액의 존재와 관계없이, 중이강내에 공기가 있다는 것을 의미하며 이는

spontaneous recovery가 가능성이 매우 높은 좋은 예후인 자료 간주할 수 있다.

Tympanometric peak가 있는 pressure보다는 peak height 혹은 static immittance가 더 큰 임상적 의미를 갖는다.

외이도의 끝부가 완전히 성숙하기 이전의 유아에서는 외이도의 탄력성 때문에 고막 운동성 계측시 외이도에 가한 압력이 고막에 정확히 반영되지 않아 생길 수 있는 오차를 염두에 두어야한다. 따라서 등골근 반사 역치값도 오차가 생길 수 있으며 이러한 오차는 최소 생후 2개월까지는 큰 의미를 갖는다고 보고된 바도 있다.

2) Stapedial-reflex test

(1) 이론 : 중이내에는 두 개의 근육이 존재하는데 (tensor tympani and stapedius) 사람의 경우 외이도를 통하여 강한 음자극을 주면 그림과 같은 반사궁 (reflex arc)을 통하여 stapes에 부착되는 등골근 (stapedius muscle)이 수축하게 된다. 등골근의 수축은 stapes footplate 움직임에 변화를 주게되어 중이에서 내이로의 에너지 전달을 조절할 수 있다. 이 반사궁은 강한 음자극으로부터 내이를 보호하는 역할을 하며, 이러한 기전을 이용하면 소리가 전달되는 경로, 즉 ossicular chain의 상태 및 reflex arc와 관련된 청신경, 안면신경 및 뇌간하부의 이상유무를 진단할 수 있다.

(2) 방법 : 순음 자극의 주파수는 500, 1000, 2000 Hz를 선택하여 정상인의 유발역치를 감

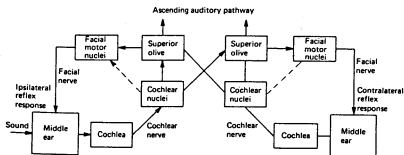
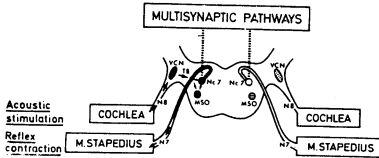


Fig. 16. Pathway of stapedial reflex arc by sound stimulation

A IPSILATERAL STAPEDIUS REFLEX PATHWAYS



B CONTRALATERAL STAPEDIUS REFLEX PATHWAYS

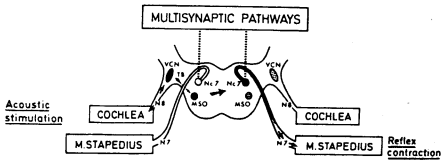


Fig 17. Schematic diagram of ipsilateral and contralateral multisynaptic stapedius reflex pathways. N8; acoustic nerve, VCN; ventral cochlear nucleus, TB; trapezoid body, MSO; medial superior olivary complex, N7; facial nerve

안하여 70~90 dB HL정도 이상의 강한 소리를 연속 또는 단속하여 자극하고 체적 감소가 관찰 될 때까지 자극강도를 올려주어 compliance가 외이강 전체 체적의 1%인 0.02 cc 이상의 감소변화를 보이는 최소의 음 강도를 찾는다.

(3) 결과 : 정상인에서 500~2000 Hz의 순음 자극을 줄 때, 반대쪽 귀를 자극하면 70~100 dB HL에서 반사가 나타나며, 동측 귀를 자극하면 이보다 2~14 dB 낮은 강도에서 반사가 나타난다. 양측을 동시에 자극하는 경우에는 약 3dB 더 낮은 음에서 반사가 나타난다. 만약 pure tone 대신 white noise를 주는 경우에는 순음보다 10~20 dB 낮은 약 65 dB HL의 반사 역치를 보인다. 정상인에서 4000 Hz에서의 등골근반사 유무는 임상적으로 의미가 없다.

: mild or moderate unilateral conductive hearing loss ; 소실정도에 비례한 역치상승

: moderate or severe conductive hearing

loss ; reflex (-)

: cochlear type sensory neural hearing loss ; less than 60 dB SL (recruitment phenomenon)

그러나 난청이 정도 이상으로 심해지는 경우에는 등골근 반사가 관찰되지 않게 되며, 이때 반사를 일으키는 최소한의 sensation level은 약 15 dB SL로써 이는 기능성 난청 (functional hearing loss)을 감별하는 방법으로 이용되기도 한다.

: retrocochlear type ; reflex (-), reflex decay (+)

: brainstem lesion :

ipsilateral stimulation - reflex (+)

contralateral stimulation - reflex (-)

: 등골근 반사는 500~2000 Hz 영역에서 큰 의미를 갖고 있다. 따라서 ABR에 의하여 난청이 확인된 유소아에 있어서의 저음역 난청여부 확인에 임상적으로 유용하게 이용될 수 있다.

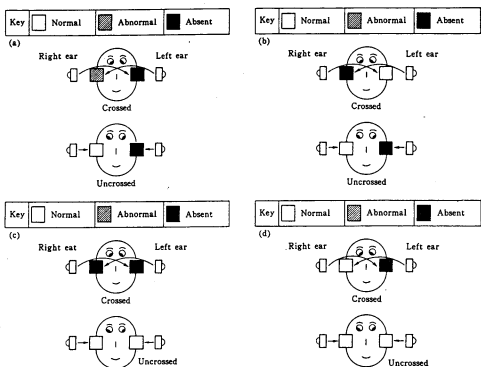


Fig. 18. (a) Conductive problems in the left ear or a left 7th CN disorder (b) Lt. cochlear or retrocochlear lesion (c) consistent with brainstem disorder (d) associated with brainstem disorder

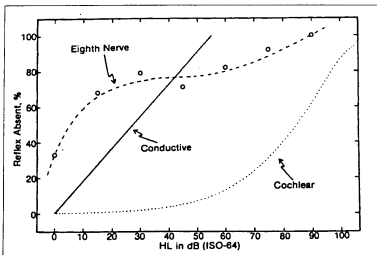


Fig. 19. Relation between degree & types of hearing loss and reflex absent percentage

즉 ABR (1 kHz, 4 kHz)에서 청력소실로 나타난 아이에서 등골근 반사가 나타나지 않는 경우에는 전 음역에서의 청력소실을 의심할 수 있다.

3) Static compliance

(1) Compliance는 압력변화에 대한 부피변화의 비(比), 즉 음압에 의한 고막의 운동성으로써 자극음이 밀봉된 외이도에서 중이강으로 전달되려는 성질을 의미한다. 특히 static compliance는 외이도와 중이강의 압력차가 없

을 때의 고막의 compliance (maximal compliance)를 측정하는 것으로, 외이도 벽의 소리 흡수를 제외한 고막에서의 흡수만을 의미하는 admittance의 개념이라고 할 수 있다.

Probe tip에서의 admittance는 외이도 공기용적의 admittance와 고막의 admittance의 합이라 할 수 있다. 엄밀히 말해서 고막에서의 admittance 값을 구하려면 앞의 공기용적 admittance 값을 빼야 한다 (static compliance).

(2) Static compliance = maximal compliance - compliance at +200 mmH₂O

200 mmH₂O에서의 compliance 즉 ear probe에 의하여 밀폐된 외이강의 용적을 전체 compliance에서 빼게 되면 고막에서의 compliance를 구할 수 있으나, 단독으로 사용할 경우 임상적 가치는 낮다.

(3) 외이도 용적

normal : children 0.5~1.0

adult 0.6~2.0

: normal, SNHL, functional hearing loss

low : <0.25

: adhesive OM, MEE, Ossicular fixation

high : >2.0

: ossicular discontinuity, large healed perforation

very high : children >2.0

adult >2.5

: perforation

4) Acoustic reflex decay test

Acoustic reflex threshold보다 10 dB 높은 강도로 500, 1000, 2000 Hz에서 10초간 contralateral stimulation 할 때의 compliance변화를 관찰한다. 즉 stapedial reflex의 변화를 관찰하는 것이다. 이는 retrocochlear lesion을 진단하기 위해서 사용하는 것으로 10초내에 50% 이상의 decay가 있으면 양성으로 판정한다. 특히 500 Hz 음자극에서 더욱 의의가 있으며, 대체적으로 진단율은 약 30%에 이른다.

만약 등골근반사 역치가 5초 이내에 50%의 감소를 보이는 경우에는 말초성 신경병변에

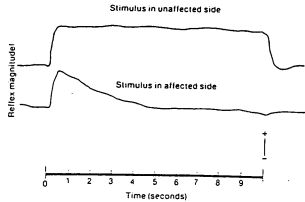


Fig. 20. Acoustic reflex decay test. Note that stimulation is applied to the contralateral ear.

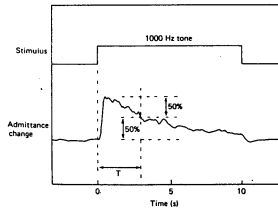


Fig. 21. If the time T is less than 5 s, reflex decay is applied to the contralateral ear is considered to be indicative of a peripheral neural lesion.

의한 단청을 의심할 수 있다.

5) Special applications of the acoustic reflex

(1) Hearing loss prediction by the acoustic reflex

* 전역잡음 (white noise)에 의한 등골반사는 순음자극에 의할 때 보다 역치가 낮으며 이러한 두 역치값의 차이는 감음신경성난청의 정도와 관련이 있다.

* SPAR (sensitivity prediction by the acoustic reflex)

=순음 등골근반사 역치 산술평균 (at 500, 1000, 2000 Hz)

— 광역잡음 등골근 반사역치 +16

이 값이 15이하인 경우에는 미로성 난청 (cochlear type sensoryneural hearing loss)으로 의심할 수 있다.

* 만약 잡음-순음 등골근반사 역치차가 20보다 작으며, 광역잡음 (broad band noise) 반사역치가 95 dB SPL 보다 작다면, 경도에서 중등도 감음신경성난청을 의심할 수 있으며 광역잡음 반사역치가 95 dB SPL 보다 크다면 고도난청을 의심할 수 있다.

* 만약 1000 Hz에서의 등골근반사 역치가 95 dB HL 보다 크다면, 어느정도의 청력손실을 항상 예측할 수 있다.

* 만약 잡음-순음 등골근반사 역치차가 20보다 크고, 1000 Hz에서의 반사역치가 95 dB SPL 보다 작다면 정상청력을 기대할 수 있다.

(2) Hearing screening programs

* mid-frequency 영역에서 약 100 dB HL의 등골근반사 역치를 보였다면 이는 중이강의 상태가 정상임을 의미하는 것이다. 한편 정상 중이강의 약 5%에서는 등골근반사를 보이지 않음을 기억하여야 한다.

(3) Hearing aid fitting

* 유소아 혹은 정신지체인의 보청기 장착에 이용하는 방법으로써 보청기를 착용한 상태에서 500, 1000, 2000, 4000 Hz의 등골근반사 역치를 일으키는 정도로 조절하는 것이 좋다 (실제로는 과증폭 및 이로인한 불쾌감을 줄이기 위하여 등골근반사 역치를 넘지 않는 것이 권장된다).

(4) Eustachian tube function test

임피던스 청력검사 장치를 이용하여 이관기능을 검사할 수 있다.

i) Indirect method

고막천공이 없는 경우에 시행하는 경우로써 먼저 현재 중이강 상태를 평가하기 위하여 tympanogram을 측정한다. 그 다음 임피던스 청력검사 장치를 이용하여 외이도에 일정한 정도의 양압 (+200 or +400 mmH₂O)을 가한 후 침 (saliva)을 수차례 삼키도록하여 이관을 통한 압력조절을 유도한다. 이 때의 tympanogram을

측정한다. 다시 음압 (-200 or -400 mmH₂O)을 가한 후 침을 수차례 삼키도록하고 다시 tympanogram을 측정한다. 이관기능이 정상적이려면 부하양압 후 tympanogram의 peak는 정상시보다 약간 음압쪽으로 이동하여야 하며, 부하음압 후에는 정상시보다 약간 양압쪽으로 이동하는 변화를 보인다. 이러한 중이강 압력의 변화가 없으면 이관기능이 좋지 않음을 암시한다.

ii) Direct method

고막천공이 있는 경우에 시행한다.

a) passive test

임피던스 청력검사 장치를 이용하여 외이도에 점차적으로 양압을 증가하여 이관이 열리는 점을 구한다 (대개는 200 daPa 이상에서 발생한다). 만약 이관이 완전히 폐쇄되어 있다면 양압을 가하여도 이관이 열리지 않을 것이며 이관이 너무 patent한 경우에는 양압을 가하기 어렵게 된다.

b) nonpassive test

외이도에 양압 (+200 daPa)을 가한 후 환자로 하여금 침을 5회 삼키게하여 이관을 통한 압력조절을 유도한 후 남아있는 압력 (residual positive pressure)이 얼마나 되는지 검사한다. 또한 음압 (-200 daPa)을 가한 후 검사를 반복한다. 정상적으로 이관기능이 있는 경우에는 residual pressure가 "0"에 가까워야 한다.

(5) Sound localization by binaural interaction of stapedius reflex

그동안 sound localization (sense of sound direction)의 기전으로서 baffle effect 및 shadow effect가 설명되었는데, 최근에 보고된 바에 의하면, 소리가 들려오는 방향에 따라서 양측 귀에 발생하는 stapedius reflex 강도가 양측이 서로 다르게 일어난다고 하였으며, 따라서 각 내이 (inner ear)에 전달되는 소리강도의 차이가 나게 하여, 이로 인하여 sound localization 이 가능하다고 발표된 바 있다.

Reference

1. Cummings CW et al : Otolaryngology Head and Neck Surgery, 2nd ed, pp 2698~2715, Mosby-Year Book Ins., St. Louis, 1993
2. Cummings CW et al : Otolaryngology Head and Neck Surgery, Update I, pp 62~77, Mosby-Year Book Ins., St. Louis, 1989
3. Jerger J et al : Handbook of clinical impedance audiometry, Morgan Press, 1975
4. Katz J : Handbook of Clinical audiology, 3rd ed, pp 423~495, Waverly Press, Baltimore, 1985
5. Kerr AG et al : Scott-Brown's Otolaryngology, 5th ed, pp 244~269, Butterworth & Co., 1987
6. ME Glasscock III, GE Shambaugh Jr. : Surgery of the Ear, 4th ed, pp 296~320, Saunders Co., Philadelphia, 1990