

이음향방사 (Otoacoustic emissions)의 임상

서울대학교 의과대학 이비인후과학교실

장선오 · 장용주

Clinical Application of Otoacoustic Emissions.

Sun O Chang, M.D., Yong Ju Jang, M.D.

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

I. 서 론

청각수용기관인 와우는 소리를 받아들이는 기능 뿐만 아니라 소리를 발생시키는 기능을 가지고 있다는 사실은 1948년 T. Gold에 의해 제기된 개념이지만 많은 사람들에 의해 인정을 받지 못하였고, 1978년 영국의 Kemp에 의해 다시 이음향방사라는 형태로 개념의 정립이 이루어지게 되었다. 이음향방사(otoacoustic emissions, OAEs)는 주어진 음자극에 대한 음향반응이 와우에서 생성되어 이소골, 고막을 통하여 외이도에 전파되어 나타나는 것을 이른다. Kemp(1979)는 외이도에 설치된 마이크 로폰을 사용하여 이음향방사의 존재를 처음 기술했으며 이러한 소리는 와우의 능동적 작용(active mechanism)에 의해 발생되어 중이를 거쳐 외이도에서 감지된다고 주장했다. 이음향방사의 발견은 와우기저막의 예리한 tuning의 성질(sharp tuning)과, 외유모세포의 운동성(motile property)의 발견과 더불어 와우 생리에 관한 이해에 큰 도움을 주는 하나

의 이정표적인 사건이었다. 그 이유는 이것으로 인하여 와우의 생리에 대해 더욱 잘 알게 되었다는 사실 외에도 비침습적인 방법으로 와우의 상태를 평가할 수 있는 객관적 검사방법으로 사용될 수 있다는 점에 있다.

이음향방사는 외유모세포의 능동적 증폭작용(active amplification process)의 부산물(byproduct)로 이해되며 이것은 와우에서 발생되어 중이를 거쳐 외이도로 전달된다. 이음향방사 자체가 청각수용과정에 필수적인 요소는 아니며 그것은 다만 정상적인 청각수용과정이 이루어지고 있다는 것을 반영할 뿐이다. 이음향방사는 외유모세포에서 발생된다고 생각되는데 그 이론적 배경으로는 이음향방사는 청신경이 tetrotoxin에 의해 차단되었거나 잘렸을 때 발현된다는 점, 외유모세포의 기능이 소음이나 이독성 약물에 의해 영향을 받듯이 이음향방사도 이러한 것의 영향을 받는다는 사실 등이 있다. 또한 이음향방사는 30 dB 이상의 감각신경성난청이 있으면 그 발현율이 현저히 저하되며 이음향방사의 input-output function

KEY WORDS : Spontaneous otoacoustic emissions · Evoked otoacoustic emissions ·
Clinical application

Table 1. Evidences supporting the possible origin of OAEs from outer hair cells

| |
|--|
| Unaffected when the auditory nerve is blocked or cut |
| Adversely affected by ototoxic drugs and noise |
| Disappear with SNHL greater than 30 dB |
| Nonlinear input/output function |
| Heavily innervated by auditory efferent system |
| Present in mutant mice that have no IHCs |

Table 2. Classification of otoacoustic emissions

| |
|---|
| Spontaneous otoacoustic emissions, SOAEs |
| Evoked otoacoustic emissions, EOAEs |
| 1) Transient evoked otoacoustic emissions, TEOAEs |
| 2) Stimulus frequency otoacoustic emissions, SFOAEs |
| 3) Distortion product otoacoustic emissions, DPOAEs |

은 와우의 능동적 기전에서와 같이 비선형 (nonlinear) 반응이라는 점, 외유모세포에는 많은 원심성신경이 분지되어 있어 이러한 원심성 지배를 받는다는 점, 또한 이음향방사는 내유모세포가 없는 돌연변이 mice에서도 나타나며 외유모세포가 없는 mice에서는 나타나지 않는다는 사실 등이 있다 (Table 1).

이음향방사는 크게 자발 이음향방사 (自發 耳音響放射, spontaneous otoacoustic emissions)와 유발 이음향방사 (誘發 耳音響放射, evoked otoacoustic emissions)의 두 종류로 대별된다.

자발이음향방사는 외부 자극음이 없는 상황에서 와우에서 생성, 외이도로 방사되어 감지되는 소리이며, 유발이음향방사는 귀에 가해진 음자극에 대하여 발생하는 이음향방사이다.

유발이음향방사는 자극후 일정한 잠복기 후에 나타나는 일과성 음에 의한 이음향방사 (一過性音 誘發 耳音響放射, transient evoked otoacoustic emissions)와 주파수반응 이음향방사 (周波數反應 耳音響放射, stimulus frequency otoacoustic emissions), 변조 이음향방사 (變調 耳音響放射, distortion product otoacoustic emissions)로 분류된다 (Table 2).

II. 자발이음향방사 Spontaneous Otoacoustic Emissions, SOAEs

자발이음향방사는 음자극이 없는 상황에서 외이도에서 측정될 수 있는 좁은 음역 (narrow band)의 자발적인 음향방사로 마이크로폰에서 잡히는 소리가 증폭이 되고 FFT (Fast Fourier transformation)에 의해 주파수분석 (spectral analysis)이 된 후 구할 수 있다. 이것은 다른 이음향방사보다도 특히 조용한 방에서 측정되어야 한다. 자발이음향방사는 대개 500에서 3000 Hz 사이에서 발생한다고 알려져 있고 그

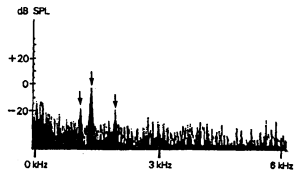


Fig. 1. An example of SOAE with three peaks (arrow).

Table 3. Prevalence of SOAEs in different study subjects (Chang et al, 1994)

| Subjects | Number of subjects | Positive rate of SOAE |
|-----------------|--------------------|-----------------------|
| Normal | 49 | 11(22.4%) |
| SNHL | 22 | 0(0%) |
| Tinnitus | 27 | 16(59.2%) |
| SNHL + Tinnitus | 32/ | 3(9.4%) |

* SOAE : spontaneous otoacoustic emission

** SNHL : sensorineural hearing loss

강도는 -10에서 20 dB 정도이다. 자발이음향 방사는 여러 개의 좁은 음역의 방사음의 집합인데 그 방사음간의 간격은 대개 50 Hz를 넘지 않는다 (Fig. 1).

자발이음향방사의 발현율은 보고자마다 다양하여 정상 청력인의 13%~60%에서 발현되는 것으로 보고된다. 소아에서 자발이음향방사는 40%정도의 발현율을 나타낸다고 한다.

자발이음향방사가 발현되지 않는다는 것은 임상적 의미는 없는 사실이지만 이것이 발현된다는 것은 최소한 청력역치가 20 dB HL 이내에 있고 이음향방사가 발현되는 주파수 근처에서는 와우가 정상적으로 작용하고 있다는 증거가 될 수 있다. 그러나 이러한 청력역치의 추측은 유발이음향방사에서 더욱 잘 알 수 있다. 이 검사는 동일한 피검자에게서 반복측정시 주파수의 변동은 거의 없는 것으로 알려져 있다.

Ruggero (1983) 등은 정상유모세포에서 비정상유모세포간의 급격한 변동이 있는 부분에서 정상적으로 있어야 하는 인접부분의 damping 효과가 저하되어 자발 이음향방사가 발생된다고 주장하였다. 이러한 자발이음향방사의 임상적 이용은 그것이 검사간의 변동이 많고 정상인의 일부에서만 나온다는 점에서 제한되어 있다. 그러나 자발이음향방사가 귀에서 자발적으로 나오는 소리라는 점에서 이명 (tinnitus) 과 비슷한 기전을 가지고 있는 것이 아닌가 하여 이명과의 연관성에 대한 연구는 비교적 활발히 진행되어 왔다 (Norton, 1990). 현재까지의 연구결과로 자발이음향방사와 이명의 관계는 명확하지 않으며 (Tyler and Conrad-Ar-

mes, 1982), 자발이음향방사와 이명의 주파수는 일치하지 않는다. Norton (1990) 등은 정상 청력군에서는 자발이음향방사가 이명의 원인이 될 수 있으나 이명환자 전체를 놓고 보았을 때는 이것이 원인이 되는 부분은 미미하다고 보고했고 다른 연구자료에 의하면 이명이 있는 환자 전체의 4%에서만 자발이음향방사가 그 원인이었다. 저자의 연구에 의하면 정상청력인에서의 발현율이 22.4%였는데 비해 이명이 있는 환자에서의 자발이음향방사의 발현율은 59.2%, 감각신경성 난청환자군에서는 0%, 30 dB 이상의 감각신경성난청과 이명이 같이 있었던 군에서는 9.4%의 발현율을 보여 청력손실이 없으면서 단순히 이명만을 호소하는 사람에서 이음향방사의 발현율이 훨씬 높았음을 알 수 있었으나 (Table 3), 측정된 이명의 주파수와 spectral analysis를 통해 나타난 자발이음향방사의 주파수는 일정한 상관 관계를 보이지는 않았다.

III. 일과성 음에 의한 유발이음향방사 Transient Evoked Otoacoustic Emissions, TEOAEs

귀가 click이나 tone burst, tone pip과 같은 일과성음 (transient)으로 자극을 받으면 얼마간의 잠복기 후에 이음향방사가 발생한다. 이것은 와우의 외유모세포의 작용에 의해 발생되는 현상으로 생각된다. 일과성 음에 의한 유발이음향방사 (TEOAEs)는 임상에 가장 활발히 적용되는 이음향방사이다.

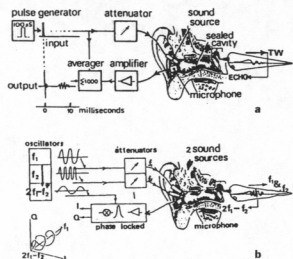


Fig. 2. System setups for measuring TEOAE (a) and DPOAE (b)

TEOAE를 측정하기 위해서는 음원과 민감한 마이크로폰이 필요하다 (Fig. 2, a). 자극음 가운데 click은 짧은 시간 안에 넓은 음역의 주파수부위를 검사하기 위하여 사용된다. 짧은 duration을 가지고 있는 tone burst도 좁은 부위의 주파수대를 평가하는데 사용된다. 자극의 종류에 있어서 click 음과 tone pip 중 어느 것이 유리한지는 아직도 확실하지 않다. 검사를 실시함에 있어서는 여러 방법을 사용하여 자극음에 의한 artifact를 제거하여야 한다. 그러한 방법들로 먼저 이음향방사는 자극에 대해 반응이 지연되어 나타나므로 자극이 들어간 후의 처음의 몇 msec를 제외시킨다. 자극음이 커지면 artifact는 더 많아진다. stimulus artifact rejection scheme은 이음향방사의 비선형적 증가형태를 이용한다. Sweep rejection technique은 높은 강도의 고음을 제거하기 위해 사용된다. 이음향방사의 평균진폭이 소음에 비해 증가함에 따라 두개의 buffer인 A와 B의 상관계수는 증가하게 된다. 이 상관계수는 이음향방사의 강도의 지표가 될 수 있고 재현성 (reproducibility)이라는 용어로 표현된다. 이외에도 반응강도를 표현하는 지표로는 서로 독립적인 것은 아니지만 평균방사반응의 상대적 강도, 주변소음 (background noise)의 평가, 소음과 음향방사의 비교 등이 있는데 ILO 88

에서는 reproducibility와 echo level을 비교한다. 강한 자극이 사용될 때는 좋은 반복성 (repeatability)과 높은 재현성 (reproducibility)을 보이는 자극에 의한 잔류 artifact와 진정한 이음향방사와 구별하는데 조심을 하여야 한다. 유발이음향방사의 존재는 반응의 잠복기 (latency)와 repeatability of the two emitted response에 의해 판단되는데 이음향방사의 잠복기는 Kemp에 의하면 1~12 msec의 분포를 보이며 5 msec정도의 잠복기가 가장 많다. 그러므로 반응의 분석구간을 2.5~20 msec로 설정하여 측정한다 (Fig. 3의 아래 경계선의 굵은 선). 자극음의 평균가산은 보통 260회를 한다.

TEOAE반응 양상의 기준은 91년 Kansas symposium에서 echo response 8 dB, reproducibility 50% 이상을 기준으로 하였으나 이 문제에 관한 일치된 결론은 아직 없고 대개는 5 dB, 50%의 기준을 사용한다 (Fig. 3의 방사음은 10.2 dB의 강도를 보이며, 0~6 kHz사이의 전 반적인 reproducibility는 81%, 2, 3, 4 kHz에서는 90% 이상을 보여 반응의 안정성을 보이고 있다).

자극음의 상태를 판단하는데는 3개의 parameter가 있는데 stability, temporal waveform, spectrum등이 그것들이다. stability는 260개의 click의 시작과 끝의 일치 정도의 index로 90% 이상이 되어야 바람직하다. TEOAE의 양성반응이 나타나지 않는 경우는 해부학적 이상이나 장비의 문제 또한 지나친 소음등이 그 원인으로 생각되므로 이런 것들에 대한 평가를 하여야 한다. Figure 3의 자극음은 default 0 dB의 자극음을 주었을 때 82 dB의 peak sound pressure level (pSPL)을 보이며 그 안정성이 96%임을 보이고 있다.

이음향방사 반응의 역치와 순음청력검사의 역치는 일치하지 않는다. 그러나 TEOAEs는 정상적인 청각을 가지고 있는 사람의 거의 100%에서 발견되며 동일한 피검자에 있어서 반응의 양상은 시간의 변화에 관계없이 비교적 일정하다. 한 사람에게 있어서 두 귀의 반응은 비슷한 양상으로 나타나 유전적으로 결정된

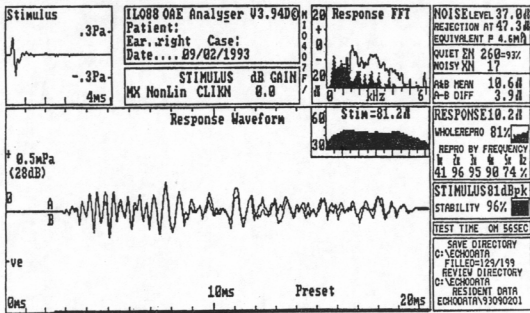


Fig. 3. Transient evoked OAEs, as recorded with ILO 88 device (Otodynamic Limited) with click stimulation, in a normal-hearing adult woman.

코르티기의 개인적 차이를 보여준다. 유발이음향방사는 청력손실이 30에서 40 dB HL 을 넘으면 나타나지 않는다. Kemp는 TEOAEs가 청력손실을 정량적으로 평가하지는 못하지만 역치가 30 dB이 넘는 외유모세포의 장애에 의한 청력손실의 여부를 결정하는데 있어서 적절히 사용될 수 있다고 주장하였다. 이음향방사 파형의 주파수분석을 해 보면 1~4 kHz의 broad band noise가 나타나고 그 위에 방사음의 multiple narrow band peak가 나타난다. 가장 높은 peak는 주로 1~2 kHz 에서 발견되고 자극음이 커지면 비선형적 형태로 방사음도 커지며 인접주파수대로 확대된다 (장 등 1992a).

동물에서의 유발이음향방사도 사람에서와 비슷한 양상으로 나타나는데 저자의 연구에 의하면 기니피에서 CEOAEs는 주파수강도분석상 1.5~5 kHz 사이의 넓은 주파수대에 방사음이 나타났고 최대방사치는 2~3 kHz였고 echo response와 reproducibility의 coefficient of variation이 높아 검사의 재현성이 높음을 알 수 있었다 (장 등, 1992b).

IV. 주파수반응 이음향방사 Stimulus Frequency Otoacoustic Emissions, SFOAEs

Kemp와 Chum (1980)은 일정한 주파수범위에서 저음에서 고음으로 연속적으로 이동하며 자극이 되는 순음에 대해 반응하는 이음향방사에 대하여 기술을 하였다. 이러한 SFOAE에서는 자극음과 음향방사가 동일한 주파수를 가지기 때문에 자극음과 방사음을 구별하는데 있어 기술적인 어려움이 있다. SFOAE는 자극에 대하여 반응의 위상 (phase)과 정도 (level)이 변하는 것을 통하여 감지된다. 이것을 위해 lock-in amplifier라는 장치가 필요하다. ILO 88이나 ILO 92 system에서는 probe의 물리적 성질에 의하여 발생된 위이도의 선형적 반응을 제거하고 비선형적인 반응만을 잡아낸다. 이러한 기술적인 어려움으로 인하여 이 검사는 임상적으로나 연구적 목적으로 그리 많이 사용되지는 않는다.

주파수반응 이음향방사는 일정한 반응양상

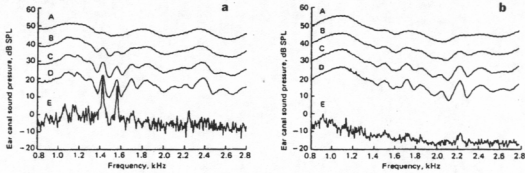


Fig. 4. Stimulus frequency OAEs in human. Sound pressure level in a ear canal measured during a stimulation with several intensities and sweeping frequency in the range 1.4~2.8 kHz. The top curves, recorded with 60 dB SPL, represent the frequency responses of the acoustic system (SFOAEs are saturated). Beginning with 30 dB SPL, perturbations of the baseline can be noted, indicating emission frequencies. Bottom curves: Non-stimulus conditions (a : with SOAE, b : without SOAE).

을 보이고 TEOAE와 비슷한 특징을 가지므로 동일한 기원에서 발생된다고 생각된다. SFOAE는 몇개의 연속적인 방사와의 산 (peak)과 골 (trough)로 나타내어진다. 반응의 진폭은 -20에서 +10 dB SPL이다. 음향방사의 발현율은 보고자마다 차이가 있으나 그 빈도는 88%에서 100%이다 (Dallmayr, 1987. Zwicker and Schloth, 1984). Figure 4는 SOAE와 잠복성 SOAE를 가진 사람에서의 주파수반응 이음향방사의 파형을 나타내고 있다. 외이도의 음압이 역치에 가까울수록 뚜렷한 SFOAE의 파형을 보임을 보이고 있다.

V. 변조이음향 방사 Distortion Product Otoacoustic Emissions, DPOAEs

청각계통은 반응은 비선형성 (nonlinearity)의 특징을 가지고 있으며, 이것은 음자극에 대하여 와우기저막의 운동, 내유모세포의 수용체 전위강도 (receptor potential amplitude), 신경세포의 firing rate 등이 자극음의 증가에 따라 제한된 범위 안에서 비직선적인 반응양상으로 증가하는 것을 의미한다. 이러한 비선형성 (nonlinearity)의 또 다른 증거가 combination

tones 또는 distortion product이다. 변조이음향방사는 두개의 다른 주파수를 가지는 순음인 f_1 , f_2 의 음자극이 가해졌을 때 발생하는 여러 주파수의 이음향방사로 그 중에 가장 강한 것은 $2f_1 \sim f_2$ 의 주파수를 보이는 cubic distortion product이다 (Fig. 5, b). 변조이음향방사 (DPOAEs)를 측정하기 위해서는 마이크로폰과 speaker가 부착된 ear probe, tone generation system, two separate transducer, preamplifier, averager가 필요하다 (Figure 2, b).

DPOAEs의 반응의 크기는 두 순음의 상대적, 절대적 강도와 주파수의 비율에 영향을 받는다. 일반적으로 DPOAEs는 f_1/f_2 비가 1.2이고 L1 이 L2보다 0에서 15 dB 정도 강할 때 잘 기록된다고 알려져 있다. DPOAEs는 f_1 , f_2 의 기하학적 평균에 해당하는 주파수를 담당하는 와우기저막의 위치에서의 반응을 반영한다고 생각되고 있다. DPOAEs 반응은 대개 중간주파수 (mid-frequency)대에서 가장 강하다. 때로는 500 Hz 이하에서도 나타날 수 있지만 이러한 부분은 소음의 영향을 많이 받는다는 문제를 가지고 있다. 검사는 두가지 paradigm을 사용할 수 있다. 순음자극의 강도를 일정하게 해 놓고 주파수를 변화시키는 DPOAE audiogram (Fig. 5, c, f), 그리고 일정한 주파수에서 두 순음의 강도를 변화시키는 input/output

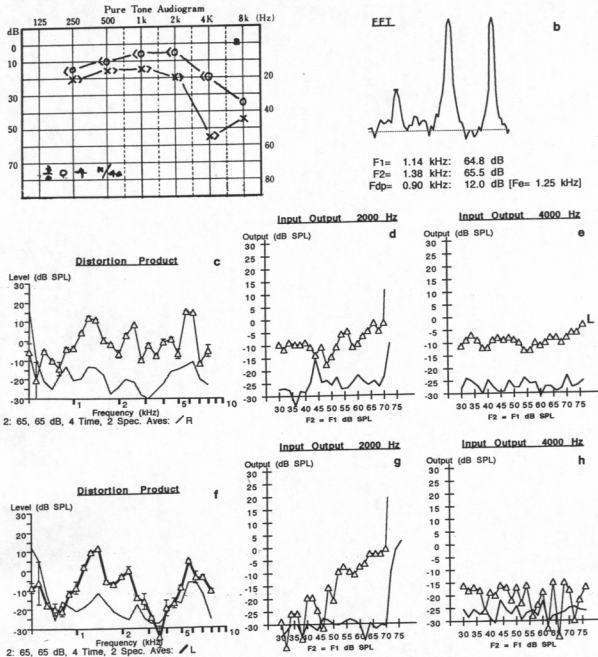


Fig. 5. Pure tone audiograms (a) and DPOAEs in a male who had the noise induced hearing loss in left side. DP-audiogram (c, d) mimic the curves of the PTA and input-out function in normal hearing side (d, e) and high tone loss side (g, h). Panel b shows the F1, F2 and Fdp (2F1~F2) peaks in spectral analysis. Fe means a data point appeared (triangles in panel c, d) in DP-audiogram as a geometric mean with Fdp amplitude. The data were generated from Virtual 330, Virtual Corp, USA)

function (Fig. 5, d, e, g, h)이 있다. TEOAEs 다. 청력역치가 15 dB를 넘지 않으면 DPOAEs 에서와 같이 DPOAEs도 정상청력인에서는 잘 는 항상 출현하고 역치가 50 dB를 넘으면 나타나며 신생아에서도 나타난다고 알려져 있 현하지 않는다. 이 중간영역에서는 자극음의

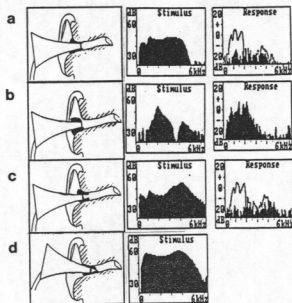


Fig. 6. TEOAEs from one adult in different fitting conditions : (a) acceptable fitting, nice stimulus spectrum and good emission spectrum above the noise floor, (b) leaky fit, note that the valley in stimulus spectrum and the noise obscures any emission in response spectrum, (c) poor rubber fit, (d) internal probe blockage.

강도가 증가하게 되면 변조 이음향방사가 양성반응을 보일 수 있다. DPOAEs는 0.5에서 8 kHz의 넓은 주파수 범위에서 측정된다. DPOAEs의 결과의 해석에 있어서 양성반응의 여부에 대한 판단은 noise floor, 그리고 마이크로폰과 검사장비의 민감도에 좌우된다. 일반적으로 양성반응은 DP-audiogram에서 noise floor에 비해 3 dB 정도 이상인 경우로 (Lonsbury-Martin, 1990) 인정되고 있으며 한 개체에 대한 검사에서 방사음의 강도에 6~9 dB의 변화가 있다면 이는 와우의 상태에 유의한 변화가 있음을 나타내는 소견으로 생각된다. 청각역치와 이음향방사의 강도는 1~4 kHz 사이의 중간주파수대에서 특히 좋은 상관관계를 보인다. DPOAEs에서의 역치는 input/output function에서 이음향방사가 noise floor보다 높아지기 시작하는 부분이다. 일반적으로 사람에서 DPOAEs의 강도는 순음자극음과 60 dB SPL정도의 차이를 보이며 그 강도가 30 dB

SPL을 넘지 않는 것으로 알려져 있고 실험동물들에서는 자극음과 40 dB 정도의 차이를 보여 사람에서 보다는 반응이 더 강하게 나타난다. DPOAEs의 반응양상은 검사 개체들간에는 많은 차이를 보이지만 한 피검자에서는 일정하게 나타난다.

검사를 시행하게 될 때 자극음의 강도를 정해주어야 하는데 자극음의 강도가 약할수록 와우의 능동적 작용을 더욱 정확히 반영한다고 생각되어 55 dB SPL의 자극음은 와우의 능동적 작용을, 75 dB SPL의 자극음은 와우의 수동적 작용을 반영한다는 의견도 있다. 다른 이음향방사와 비교했을 때의 DPOAEs의 장점은 와우의 기능에 대한 평가에서 주파수 특이적인 정보를 주며 기술적으로 측정하기 용이하며 artifact가 비교적 적은 검사라는 점 등이다. Figure 5는 우측은 정상 좌측은 고음역에서 역치상승을 보이는 초기 소음성 난청인의 DPOAEs의 소견을 보인 것이다. DP audiogram 상 환자의 순음 청력상과 비슷한 DP 청력상을 보이며 좌측 4 kHz의 input/output function은 소음대와 구분이 명확치 않은 DP음을 보이고 있다.

VI. 임상적 적용

이음향방사의 존재가 알려진 후 TEOAEs와 DPOAEs는 가장 활발히 연구 및 임상에 적용되는 이음향방사이다. 두 유발이음향방사는 방사선의 형태나 에너지의 분포, 청각역치 등에서 서로 높은 상관관계를 갖는다. 그러나 선별검사의 목적으로는 TEOAEs가 선호되고 임상적으로 와우의 변화를 추적하는 데는 DPOAE가 더 유용하다.

임상적 적용 (Table 4)이라는 면에서 이음향방사는 다른 검사들과 다른 몇 가지 장점을 가지며, 그 중의 하나가 객관적인 검사라는 사실이다. 이러한 검사의 객관성으로 인하여 이 검사는 일반적인 주관적 청력검사로 평가가 어려운 소아 (3세 이하), 이독성 약제를 투여받

Table 4. Clinical applications of otoacoustic emissions

| |
|---|
| Screening for newborns and infants |
| Separating the cochlear and neuronal retrocochlear hearing loss |
| Monitoring the effects of noxious agents |
| Assessing the fluctuating hearing loss |
| Differential diagnosis in children |
| Glycerol test |
| Diagnosis of malingering |

Table 5. Sensitivity of screening methods for hearing impairment in newborns

| Methods | Sensitivity |
|--------------------------|-------------|
| Crib-O Gram | 60~71% |
| Auditory response cradle | 70% |
| ABR | 86% |
| TEOAE | 93~98% |

고 있는 중환자, 외국인, 복수장애자, 정신이 혼미한 노인, 피병을 부리는 사람 등의 검사에 적절히 사용될 수 있다. 검사가 비침습적이며, 검사자의 training이 거의 필요 없다는 점도 장점으로 간주된다. 또한 이음향방사의 검사기는 컴퓨터의 software로 쉽게 장치되고 검사 결과가 정확하고 시행이 빠르고 비교적 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 무엇보다 특이한 이음향방사의 장점은 이 검사가 외유모세포 특이적인 객관적인 검사라는 사실로 외유모세포의 문제에 의해 발견되는 모든 청력장애에 민감하게 반응한다는 사실인 것이다. 그리고 이음향방사는 bed-side test로 사용될 때 이러한 상황에서도 비교적 정확한, 객관적인 정보를 준다. 그러나 이음향방사도 아직은 해결되어야 할 몇가지 문제점들이 있는데, 그것들로는 검사결과가 피검자의 내부소음에 의한 영향을 많이 받으며, 다른 검사에서와 같이 역치의 개념이 확실하지 않아 청력의 정확한 평가가 어렵다는 점, 그리고 피검자간의 검사결과 차이가 많다는 점 (intersubject variability) 등이다.

1. 선별청력검사 Screening Test

이 분야는 유발이음향방사가 가장 큰 장점을 가지고 있는 분야로 인정되어 임상에 가장 활발히 이용되고 있는 분야이다. 어떤 검사가 선별검사로써 적절하다고 판단되기 위해서는 검사의 민감도 sensitivity와 특이도 specificity가 좋아야 한다. 또한 결과판단의 기준이 객관적이어야 하며 일정해야 한다. 그리고 검사소요 시간이 짧아야 한다. 선별검사중 청성뇌간유발 반응 (ABR)은 가장 신빙성이 있고 정확한 검사로 인정되고 있다. 그러나 이 검사는 소요시간이 길고 장비의 가격이 비싸며 위양성율이 높고 진정제 투여 후에 실시해야 한다는 등의 단점이 있다. 선별검사로써 유발이음향방사의 장점은 (1) 외이나 중이의 이상이 없는 모든 사람에서 발견되며 (2) 유발이음향방사는 주파수특이성이 있고 언어의 이해에 중요한 넓은 주파수 범위에 대한 평가를 할 수 있고 (3) 40~50 dB 이상의 청력손실이 있으면 유발이음향방사는 발견되지 않고 (4) 청신경의 기능 정도에 영향을 받지 않으며 (5) 검사시간이 짧고 (6) 선별검사시 진정제 투여가 필요없고 (7) 검사의 재현성이 좋다는 것 등으로 요약될 수 있다. 반면에 선별검사로써 유발이음향검사의 단점은 보청기 사용여부에 대한 정보를 주지 못한다는 점, 그리고 청성뇌간유발반응보다 일시적인 전음성난청에 더욱 민감하다는 사실, 또한 소음에 의한 영향이 ABR보다 심하다는 것 그리고 중추성 장애의 경우 이음향방사가 발견될 수 있다는 점 등이다.

저자는 신생아중환자실에 입원한 영유아에 대한 연구에서 TEOAEs가 선별검사로 훌륭하게 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 41명의 신생아중환자실에 입원한 신생아에게 TEOAEs를 실시하여 9명의 환자에서는 양성반응을 얻지 못했는데 이들중 8명의 환아에게 다시 TEOAEs, ABR, stapedial reflex검사를 실시했을 때 7명의 환자에서는 ABR, stapedial reflex가 음성임을 알 수 있어 이 검사의 specificity가 높음을 알 수 있었다(장 등, 1994a).

이음향방사의 여러 종류중 유소아의 선별검사로 가장 많이 사용되는 것은 TEOAEs로 이것은 DPOAEs보다는 짧은 시간 안에 검사할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 DPOAEs는 TEOAEs에 비하여 더욱 주파수 특이적인 정보를 줄 수 있으므로 산업장 및, 학교에서의 screening test 로써 적절할 수 있으며, 동물 실험에서 와우의 생리상태를 real-time monitoring 할 수 있는 방법으로 좀 더 유용할 수 있다. 문헌상에 나타난 여러 검사들의 민감도는 Table 6와 같다.

2. 이독성의 monitoring

유발이음향방사의 큰 장점은 아미노글라이코사이드 항생제, cisplatin등의 이독성 약제의 노출에 의한 이독성의 조기진단에 유용하다는 것으로 이음향방사의 측정이 내이의 위요세포의 비가역적인 병변 형성 이전에 이독성을 알리는 민감한 지표로서 의의를 갖는다는 것이다. 저자의 연구에서도 기니피에서 furosemide 투여 후 가역적인 TEOAEs 검사 profile의 변화를 관찰하였다.

이러한 목적에는 DPOAEs, TEOAEs 모두가 사용될 수 있으나 DPOAEs 검사가 더 넓은 주파수범위의 이상을 반영하고 특히 이독성이 처음 발현되는 고주파수 영역의 변화에 대한 정보를 주파수 특이적으로 줄 수 있다는 장점이 있어 선호된다.

3. 기타 난청에서의 사용

소음성난청에서 순음청력검사에서와 같이

temporary threshold shift (TTS)를 반영할 수 있고 환자가 malingering을 하는지 알 수 있는 것이 장점이다. 유발이음향방사는 노인성 난청 환자에서 고음역에서의 청력손실을 객관적으로 추적하여 재활이 가능한 cochlear activity의 감소를 확인할 수 있다. 또한 이 검사는 감각 신경성난청환자에 있어서 병변이 미로성인지 후미로성인지를 감별하는데 사용될 수도 있으며, 와우의 dynamic한 상태를 잘 반영하기 때문에 Meniere's disease가 있을 때 glycerol or urea test에도 효과적으로 사용될 수 있다.

4. 수술중의 청력손실 추적 (intraoperative monitoring)

유발이음향방사는 청신경종양수술을 전후로 한 청력보전가능성을 미리 평가하는데 사용될 수 있다. 지금까지 그러한 가능성은 주로 종양의 크기로 판단했으나 그리 정확하지는 않았다. 수술예정인 환자에서 음향방사 검사결과가 좋지 않으면서도 serviceable hearing을 가지고 있는 사람은 청력보전의 가능성이 떨어진다고 생각될 수 있다. 유발이음향방사는 청신경종양 수술중의 monitoring에도 사용될 수 있다는 보고도 있다.

VII. 검사결과에 영향을 주는 요소

1. 검사측정상의 제반 요소

부적절한 probe의 placement의 예를 들면 probe 내경의 폐색, probe의 끝이 외이도벽에 닿아서 소리의 전달을 막는 경우, 헐거운 fitting, ear tip이 probe end보다 지나갔을 때 등이 있다 (Fig. 5). Fitting은 이음향방사의 측정에서 가장 중요한 부분이다. Fitting은 impedance audio검사에서도 같이 완벽하지 않아도 되지만 noise level이 적절한 선까지 내려가야만 검사의 의의가 있다고 볼 수 있다. Fitting이 불완전하면 유발이음향방사에서 1kHz 이하의 저음역 에너지를 감지하지 못하게 된다. 외부의 소음을 줄이기 위해서도 적절한 fitting은 반드시

시 필요하다. 이음향방사의 파형이 deep notch를 보았다면 이는 fitting에 문제가 있었음을 시사하는 결과로 생각될 수 있다. 호흡, 연하, 근육운동은 체내에서 발생하는 소음도 검사결과에 큰 영향을 줄 수 있다. 또한 probe tip이 박힘 없이 고막을 향해 있는 것도 중요하다. 유발, 자발 이음향방사는 외이도에서 감지가 가능한 지극히 작은 소리이다. 유발이음향방사는 아무리 그 소리가 강해도 대개는 30 dB SPL을 넘지 않는다. 간혹 60 dB SPL 정도의 강도를 가진다는 보고도 있다. 이음향방사를 측정하는데 있어서 제한점은 외부적, 내부적 소음과 마이크로폰의 민감도(sensitivity)로 외부소음을 줄이기 위해서는 조용한 방에서 행해져야 한다. System 자체에서 이음향방사의 감지를 향상시키기 위한 방법으로 사용되는 방법들이 있는데 환경의 소음이나 피검자의 생체에서 기인하는 소음을 해결하기 위해 spectral averaging technique을 사용할 수 있고 spectral averaging은 spurious background noise를 감소시킨다. time averaging technique은 sound to noise ratio를 높이는 것으로 ABR 측정시와 마찬가지로 이음향방사의 detection rate를 높인다. High pass filtering은 저주파의 생리학적 소음을 없애준다. DPOAE검사시에는 narrow filter가 기능을 하여야 한다.

2. 피검자의 연령

이음향방사는 소아에서 성인에서보다 더 잘 발현된다. 신생아에서는 그 반응이 매우 강하나 이는 나이가 늘어남에 따라 감소한다. 이음향방사는 작은 외이도에서 더 강하게 나타나기 때문에 이러한 감소현상은 외이도의 volume이 변하여 오는 현상으로 이해가 되며, Corti 기에서도 소아는 외유모세포열이 더 있고 stereocilia가 불규칙하게 정렬되어 있다는 특징이 있어 차이를 보이리라 생각되며, 또한 연령증가에 따른 외유모세포의 노화가 그러한 반응양상의 차이를 설명한다고 생각된다. 특히 DPOAEs는 노화에 따르는 고주파수영역의 청력소실도 정확히 반영할 수 있다. 일반적인 유

발이음향방사들은 대개 나이가 먹음에 따라 2 kHz 이상부위의 이음향방사가 감소하는 양상을 보인다.

3. 성별의 차이

자발 이음향방사는 여자에서 더욱 잘 측정되고 우측 귀에서 더욱 잘 감지된다고 알려져 있다. 클릭유발이음향방사는 남자는 1.5 kHz 이하부위에서, 여자는 2.5~5 kHz의 주파수 범위에서 상대적으로 강한 반응을 보인다. 일반적으로 TEOAEs는 여자에서 반응이 약간 강하게 나타나며 DPOAEs는 그 발현역치에 약간의 차이가 있다. 이러한 점을 고려하면 이음향방사를 측정할 때는 남녀의 정상범위에 대한 각기 다른 data가 필요하리라 생각된다.

4. 외이도와 중이의 상태에 의한 영향

외이도의 협착이나 폐쇄가 있으면 이음향방사의 측정은 어려워진다. 중이질환이 있을 때 이음향방사는 민감하게 영향을 받는데 청각역치가 30 dB 이내이며 난청이 없는 경우에는 대부분 이음향방사가 발현된다. 그러므로 환기 튜브가 삽입된 상태에서나 심하지 않은 장액성 중이염에서도 이음향방사의 감지가 가능하다.

중이의 압력변화에 따른 이음향방사의 변화양상을 보면 외이도에 가해진 압력의 변화는 저주파영역에서 주로 나타난다는 보고가 있으며(Plinkert PK and Brootz F, 1994), 저자의 연구에서도 외이도에 가해진 압력의 변화가 CEOAEs 반응의 저주파 영역이 많은 영향을 미침을 확인할 수 있었다(장 등, 1996 발행 중).

VIII. 결 론

이음향방사는 외우의 상태를 객관적으로 반영하는 검사기구로 앞으로 임상영역에 더욱 많이 이용될 전망이다. 실제로 미국에서는 TEOAEs가 신생아의 선별검사에 빈번히 이용되고 있다. 그러나 현재까지 우리나라에서는

이음향방사에 관한 연구자료도 충분하지 않고 임상적 사용도 아직은 드문 상태이나 현행 의료보험 제도에서도 그 수가에 긍정적으로 검토되고 있다. 그러므로 향후 이음향방사에 관한 많은 연구와 임상영역에서의 활발한 사용이 더욱 필요한 사항이라고 생각된다.

References

- 1) 장선오 · 정하원 · 동현종 · 정필상 · 노관택. 정상청력인의 Click음에 대한 유발이음향방사. 한이인지 35 : 43~49, 1992a
- 2) 장선오 · 정하원 · 정종우. 정상 기니피크의 유발이음향방사의 특성과 검사간 신뢰도에 대한 연구. 한이인지 35 : 485~492, 1992b
- 3) 장선오 · 송병호 · 조양선 · 최중환. 건강 한 신생아의 click유발이음향방사. 한이인지 36 : 512~518, 1993a
- 4) 정하원 · 장선오 : 기니피크에서 클릭유발 이음향방사를 통한 이독성 이노제투여 및 저산소 상태 유발의 결과 관찰. 한이인지 36 : 884~889, 1993b
- 5) 장선오 · 김종선 · 장용주 등 : 고 위험군 신생아의 클릭 유발이음향방사 : 선별검사로서의 유용성. 한이인지 37 : 216~221, 1994a
- 6) 장선오 · 고태용 · 김춘동 · 김동호 : 이명과 감각신경성 난청인에서의 자발이음향방사. 한이인지 37 : 866~871, 1994b
- 7) 장선오 · 장용주 · 서정호 : 유발된 외이압 변화에 따른 클릭 유발이음향방사의 반응양상. 한이인지. 39 : 1996 발행 중
- 8) Balkany T, Telischi F, McCoy MJ et al : Otoacoustic emissions in otologic practice. Am J Otol 15, suppl 1 : 29~38, 1994
- 9) Bonfils P, Avan P, Francois M et al : Distortion-product otoacoustic emissions in neonates: normative data. Acta Otolaryngol (Stockh) 112 : 139~144, 1994

- 10) Bonfils P, Avan P : Distortion-product otoacoustic emissions. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 118 : 1069~1076, 1992
- 11) Dallmayr C : Stationary and dynamic-properties of simultaneous evoked otoacoustic emissions. Acustica 63 : 243~255, 1987
- 12) Gaskill SA, Brown A : The behavior of the acoustic distortion products, 2f1~f2, from the human ear and its relation to auditory sensitivity. J Acoust Soc Am 88 : 821~839, 1990
- 13) Gorga MP, Neely ST, Bergman B et al : Acoustic emissions from normal-hearing and hearing-impaired subjects : distortion product responses. J Acoust Soc Am 93 : 2050~2060, 1993
- 14) Harris FP, Lonsbury-Martin BB, Coats SC : Acoustic distortion products in humans : systemic changes in amplitude as a function of f2/f1 ratio. J Acoust Soc Am 85 : 220~229, 1989
- 15) Harris FP : Distortion-product otoacoustic emissions in humans with high frequency sensorineural hearing loss. J Speech Hearing Research 33 : 594~600, 1990
- 16) Hauser R, Probst R : The influence of systematic primary tone level variation L2~L1 on the acoustic distortion product emission 2f1~f2 in normal human ears. J Acoust Soc Am 89 : 280~286, 1991
- 17) Kemp DT : Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoust Soc Am 64 : 1386~1391, 1978
- 18) Kemp DT : Evidence of mechanical non-linearity and frequency selective wave amplification in the cochlea. Arch Oto-

- Rhino-Laryngol. 224 : 37~45, 1979
- 19) Lonsbury-Martin BL, Cutler WM, Martin GK : Evidence for the influence of aging on distortion-product otoacoustic emissions in humans. *J Acoust Soc Am* 89 : 1749~1759, 1991
 - 20) Lonsbury-Martin BL, Martin GK, McCoy MJ, Whited ML : Otoacoustic emissions testing in young children : middle ear influences. *Am J Otol* 15, suppl 1 : 13~20, 1994
 - 21) Martin GK, Probst RP, Lonsbury-Martin BL : Otoacoustic emissions in human ears : normative findings. *Ear Hear* 11 : 106~120, 1990
 - 22) Mensh BD, Lonsbury-Martin BL, Martin GK : Distortion-product emissions in rabbit : II. Prediction of chronic-noise effects by brief pure-tone exposures. *Hear Res* 70 : 65~72, 1993
 - 23) Moulin A, Collet L, Morgon A : Influence of spontaneous otoacoustic emissions (SOAE) on acoustic distortion product input/output functions : does the medial efferent system act differently in the vicinity of an SOAE? . *Acta Otolaryngol (Stockh)* 112 : 210~214, 1992
 - 24) Musiek FE, Smurzynski J, Bornstein P : Otoacoustic emissions testing in adults : an overview. *Am J Otol* 15, suppl 1 : 21~27, 1994
 - 25) Nelson DA, Kimberly BP : Distortion-product emissions and auditory sensitivity in human ears with normal hearing and cochlear hearing loss. *J Speech Hear Resear* 35 : 1142~1159, 1992
 - 26) Norton SJ, Schmit AR, Stover LJ : Tinnitus and otoacoustic emissions : is there a link? . *Ear Hear* 11 : 159~167, 1990
 - 27) Norton SJ : Emerging role of evoked otoacoustic emissions in neonatal hearing screening. *Am J Otol* 15, suppl 1 : 4~12, 1994
 - 28) Ohlms L, Lonsbury-Martin B, Martin GK : Acoustic distortion products : separation of sensory from neural dysfunction in sensorineural hearing loss in human beings and rabbits. *Otolaryngol Head Neck Surg* 194 : 159~174, 1991
 - 29) Owens JJ, McCoy MJ, Lonsbury-Martin BL, Martin GK : Otoacoustic emissions in children with normal ears, middle ear dysfunction, and ventilating tubes. *Am J Otol* 14 : 34~40, 1993
 - 30) Plinkert PK, Broetz F : Influence of static middle ear pressure on transiently evoked otoacoustic emissions and distortion products. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 251 : 95~99, 1994
 - 31) Probst R, Harris FR : Transiently evoked and distortion-product otoacoustic emissions. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 119 : 858~860, 1993
 - 32) Probst R, Hauser R : Distortion Product Otoacoustic Emissions in Normal and Hearing Impaired ears. *Am J Otolaryngol* 11 : 236~243, 1990
 - 33) Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Coats AC : Otoacoustic emissions in ear with hearing loss. *Am J Otolaryngol* 8 : 73~81, 1987
 - 34) Richter B, Hauser R : Dependence of distortion product emission amplitude on primary tone stimulus levels during middle ear pressure changes. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 114 : 278~284, 1994
 - 35) Roede J, Harris FP, Probst R, Xu L : Repeatability of distortion product otoacoustic emissions in normally hearing humans. *Audiology* 32 : 273~281, 1993

- 36) Ruggero MA, Rich NC, Freyman R : Spontaneous and impulsively evoked otoacoustic emissions: indicators of cochlear pathology? *Hear Res* 10 : 283~291, 1983
- 37) Smurzynski J, Jung MD, Lafreniere D et al : Distortion-product and click evoked otoacoustic emissions of preterm and full-term infants. *Ear Hear* 14 : 258~274, 1993
- 38) Smurzynski J, Leonard G, Kim DO et al : Distortion product otoacoustic emissions in normal and impaired adult ears. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 116 : 1309~1316, 1990
- 39) Subramaniam M, Salvi RJ, Spong VP et al : Changes in distortion product otoacoustic emissions and outer hair cells following interrupted noise exposures. *Hear Res* 74 : 204~216, 1994
- 40) Sutton LA, Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Whited ML: Sensitivity of distortion-product otoacoustic emissions in humans to tonal over-exposure : Time course of recovery and effects of lowering L2. *Hear Resear* 75 : 161~174, 199
- 44) Tyler RS, Conrad-Armes D : Spontaneous acoustic cochlear emissions and sensorineural tinnitus. *Br J Audiol* 16 : 1931199 1982
- 42) Zwicker E, Schloth M : Interrelation of different oto-acoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 75 : 1148~1154, 1984