

소위 무난청이명 환자에서 순음 및 연속주파수 자기청력검사(Békésy Audiometry) 소견 - 이명 주파수와 청력도의 Dip 주파수와의 관계 -

부산대학교 의과대학 이비인후과학교실
전경명 · 오세준 · 이덕규 · 박영대 · 신성찬

Pure Tone and Continuous Frequency Automatic Recording Audiometric Findings in Tinnitus Patients with Normal Hearing - Tinnitus Frequency and Dip Frequency of Audiogram -

Kyong-Myong Chon, MD, Se-Joon Oh, MD, Duk-Gyu Lee, MD,
Young-Dae Park, MD and Sung-Chan Shin, MD

Department of Otolaryngology, Pusan National University College of Medicine, Busan, Korea

-ABSTRACT-

Background and Objectives : Tinnitus is one of the most widespread disorder of the auditory system. Tinnitus frequency is usually similar to hearing loss frequency. However, there are few study about tinnitus frequency with normal hearing. The purpose of this study is to investigate the relation between tinnitus frequency and dip frequency of the pure tone and continuous frequency automatic recording audiogram (Békésy) in tinnitus patients with normal hearing. **Materials and Methods** : From May 2005 to Dec 2007, 35 tinnitus patients (48 ears) with normal hearing were encountered in our audiology clinic. Pure tone and Békésy audiometry were performed. **Results** : Patients complained usually high tone pitch (66.7%). The correlation percentage between tinnitus frequency and dip frequency of pure tone audiogram is 74.3% ($\gamma=0.60323$) and that between tinnitus frequency and dip frequency of Békésy audiogram is 83.9% ($\gamma=0.66867$) in tinnitus patients with normal hearing. **Conclusion** : Tinnitus frequency is highly related to dip frequency in tinnitus patients with normal hearing. Békésy audiometer and additional high frequency audiometry should be more helpful in the tinnitus study. (J Clinical Otolaryngol 2008;19:36-42)

KEY WORDS : Tinnitus · Frequency.

서 론

이명 환자는 점차 증가하고 있는 실정이며, 많은 연구

논문접수일 : 2008년 2월 11일
심사완료일 : 2008년 3월 17일
교신저자 : 전경명, 602-739 부산광역시 서구 아미동1가
10번지 부산대학교 의과대학 이비인후과학교실
전화 : (051) 240-7330 · 전송 : (051) 246-8668
E-mail : chonkm@pusan.ac.kr

가 있음에도 불구하고 아직 이의 병리생리학적 원인에 대해서 명확한 해답이 없다. 이명이 난청에 동반된 경우는 이명 주파수가 난청 주파수 또는 그 주변 주파수로 검사되는 것이 대부분이다. 그러나, 순음청력검사에서 난청이 없는 이명 환자에서는 과연 청각신경로에 아무런 병변이 없는 것일까?

순음청력검사는 125 Hz에서 8,000 또는 10,000 Hz 사이를 한 octave 또는 1.5 octave 간격으로 검사하

로, 검사 주파수와 주파수 사이에 난청이 있는 경우는 순음청력검사만으로는 난청 주파수를 알 수 없다. 또한 이명검사서 이명 주파수를 알기 위하여는 현재까지 순음청력검사계기를 이용하는 경우가 대부분이고, 때로 이명검사장치로 12,000 Hz까지 검사하기도 하나,¹⁾ 이보다 고주파수의 이명을 가진 환자에서 현재까지의 검사 기기로는 이명의 주파수를 알기는 어렵다. 따라서 최근에는 20,000 Hz까지 청력역치와 이명의 강도를 검사하는 보고²⁾도 있다.

저자들은 순음청력검사서 정상청력을 보이는 이명(무난청성 이명) 환자에서 순음청력검사도에 dip(난청)이 있는지, 있다면 이명 주파수와와의 관계가 어떤지를 알아보고자 하였다. 또한 연속주파수자기(Békésy)청력계기로 청력검사(continuous frequency tracing, conventional tracing)를 시행함으로써 순음청력검사계기로 검사되지 않은 주파수에서 난청이 있는지, 있다면 난청 주파수와 이명 주파수가 동일한지를 알아보고, 순음청력도와 Békésy청력도의 dip이 어느 정도 일치하는지를 알아본 연구를 시행하였다.

방법 및 대상

2005년 5월부터 2007년 12월까지 과거 2년 7개월간, 난청은 없이 이명 만을 주소로 부산대학교병원 난청외래를 방문한 환자를 대상으로, 먼저 순음청력검사상 125 Hz에서 8,000 Hz 사이에 청력은 정상이고, 고막운동성검사(tympanometry)에서 A형이나, 이명 주파수와 강도(pitch match-loudness balance) 검사에서 이명이 확진된 환자 중, 연속주파수 자기청력검사를 시행한 35명(48귀)을 대상으로 하였다.

대상 환자 35명의 성별 및 연령은 Table 1과 같이 남자 8명(22.9%), 여자 27명(77.1%)이었고, 연령은 26세부터 65세로서 평균연령은 45.5세이었다.

측별빈도는 우측 9례(25.7%), 좌측과 양측례가 각각 13례(37.1%)이었다.

순음청력검사는 Clinical Audiometer AC40(Interacoustics, Denmark)을 사용하였고, 검사 주파수는 125, 250, 500, 1 k, 2 k, 3 k, 4 k, 6 k 및 8 kHz이었으며, 각 검사 주파수의 청력역치가 20 dB 이내를 정상청력으로 간주하였다. 검사대상 48귀의 평균청력은 11.5 dB이었다.

이명검사는 표준이명검사법¹⁾에 따라 순음청력검사계기를 이용하여 순음, 대역잡음 또는 백색잡음으로 먼저 이명 주파수를 결정하고(pitch match test), 그 결정된 주파수에서 청력역치로부터 5 dB step으로 상승·하강을 반복하여 이명의 강도를 측정하였다(loudness balance test).

연속주파수 자기청력검사(Békésy청력검사는 DANAC 31(DANAC, Japan)형을 이용하여 125 Hz에서 8,000 Hz까지 10분간 주파수가 연속적으로 변화하도록 연속주파수 묘기법(continuous frequency tracing, conventional tracing)으로 검사하여 무난청형 또는 dip형, 고음급추형 등의 난청이 있는지를 알고, 난청이 있다면 이명 주파수와 어떤 관계가 있는지를 알아보았다. 연속주파수 자기청력검사서 Jerger I형이 42귀(87.5%), II형이 6귀(12.5%)이었다.

순음청력검사와 Békésy청력검사서 인접 주파수와 5 dB 이상 청력 저하가 있는 부위를 미세한(small) dip으로 간주하였다(Fig. 1).

통계는 스피어만 상관검사(Spearman's correlation test)로 상관계수(correlation coefficient, r)를 구하여 상관관계를 보았다.

결 과

이명의 주파와 강도

검사 대상 48귀의 이명 주파수는 Table 2에서와 같이

Table 1. Age and sex

Sex	Yrs						Total (%)
	-29	-39	-49	-59	-69		
M	1	3	3	1		8 (22.9)	
F	1	6	10	6	4	27 (77.1)	
Total (%)	2 (5.7)	9 (25.7)	13 (37.1)	7 (20.0)	4 (11.4)	35	

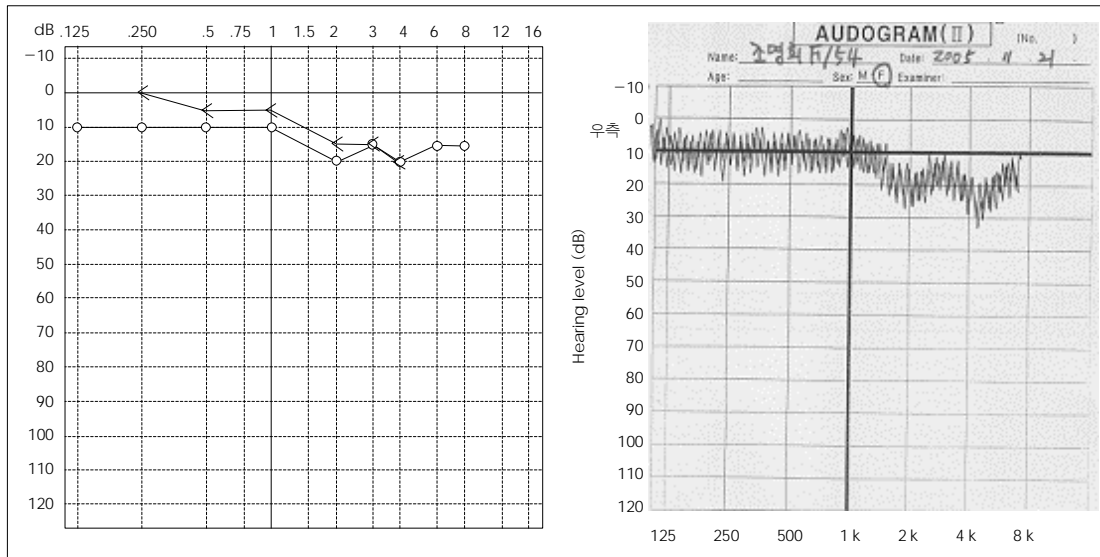


Fig. 1. Small dips in the pure tone and Békésy audiograms.

Table 2. Frequency and intensity of tinnitus n=ear

dB \ Hz	125	250	500	1 k	4 k	6 k	8 k	Total (%)
10	1			2	1		2	6 (12.5)
20	2	1	3	4	2		8	20 (41.7)
30			1	1	1		12	15 (31.3)
40	1				1	1	3	6 (12.5)
50							1	1 (2.1)
Total (%)	4 (8.3)	1 (2.1)	4 (8.3)	7 (14.6)	5 (10.4)	1 (2.1)	26 (54.2)	48

8 kHz가 26귀(54.2%)로 가장 많았고, 그 다음으로 1 kHz 7귀(14.6%), 4 kHz 5귀(10.4%)이었다. 이를 고음역, 중음역, 저음역으로 나누면 고주파수에서 32귀로 전체의 66.7%로 대상귀의 2/3가 고주파수 이명을 호소하였다.

또한 이명의 강도는 20 dB이 20귀(41.7%), 30 dB이 15귀(31.3%)로 전체의 72.9%가 20~30 dB의 이명 강도를 가졌다.

이명의 주파수 및 강도를 보면 8 kHz 30 dB이 48귀 중 12귀(25%), 8 kHz 20 dB이 8귀(16.7%), 1 kHz 20 dB이 4귀(8.3%)의 순이었다.

이명 주파수와 순음청력도의 dip 주파수

Table 3에서 보면 순음청력도에서 dip이 나타나는 귀

수는 35귀(72.9%), dip이 나타나지 않은 귀가 13귀(27.1%)이며, dip이 나타나는 귀는 전체 48귀 중 3 kHz 이상에서 26귀, 54.2%가 나타났고, dip이 나타난 35귀 중에는 3 kHz 이상의 고음역이 26귀(74.3%)로 대부분 고음역에서 나타났다. 주파수별로는 8 kHz 9귀로 전체 48귀의 18.8%, 4 kHz 8귀(16.7%), 3 kHz 7귀(14.6%)이었다.

이명 주파수와 순음청력도의 dip이 일치하는 귀를 저음역, 중음역, 고음역의 주파수대별로 보면 35귀 중 26귀, 74.3%로 일치율이 높았으며, 양자의 상관계수 r=0.60323으로 상관관계가 높았다.

이명 주파수와 Békésy청력도의 dip 주파수

Table 4에 이명 주파수와 Békésy청력도의 dip과의

관계를 보인다. Békésy 청력도에서 dip이 나타난 것은 48 귀 중 31귀, 64.6%이고, 없었던 것이 17귀, 35.4%이었다.

Békésy 청력도에서 dip이 나타난 31귀 중 3 kHz 이상의 고음역에서의 dip은 28귀, 90.3%로 순음청력도보다 높은 비율이었다.

이명 주파수와 Békésy 청력도의 dip이 동일한 주파수

대에 있었던 귀수는 26귀로 전체대상 48귀의 54.2%이고, 청력도에서 dip이 있었던 31귀의 83.9%를 차지하였다.

이명 주파수와 Békésy 청력도의 dip 주파수와의 상관계수 $r=0.66867$ 이므로 상호간에 상관관계가 높았다. 이는 순음청력도의 dip과의 상관계수 $r=0.60323$ 보다 더 높았다.

Table 3. Tinnitus frequency and dip frequency of pure tone audiogram n=ear

Tinnitus (Hz) \ Dip (Hz)	Dip (Hz)									Total (%)
	No	125	250	2 k	3 k	4 k	6 k	8 k		
125	1	2		1						4 (8.3)
250			1							1 (2.1)
500	2		1			1				4 (8.3)
1 k	3		1		3					7 (14.6)
4 k					2	3				5 (10.4)
6 k							1			1 (2.1)
8 k	7		1	2	2	4	1	9		26 (54.2)
Total (%)	13 (27.1)	2 (4.2)	4 (8.3)	3 (6.3)	7 (14.6)	8 (16.7)	2 (4.2)	9 (18.8)		48

Table 4. Tinnitus frequency and dip of frequency Békésy audiogram n=ear

Tinnitus (Hz) \ Dip (Hz)	Dip (Hz)										Total (%)
	No	125	250	500	3 k	4 k	5 k	6 k	8 k		
125	2	1	1								4 (8.3)
250				1							1 (2.1)
500	2					2					4 (8.3)
1 k	4					1		2			7 (14.6)
4 k	1				1	1	2				5 (10.4)
6 k								1	1		1 (2.1)
8 k	8				1	2	6	8	1		26 (54.2)
Total (%)	17 (35.4)	1 (2.1)	1 (2.1)	1 (2.1)	2 (4.2)	6 (12.5)	8 (16.7)	11 (22.9)	1 (2.1)		48

Table 5. Dip frequencies of pure tone and Békésy audiograms in tinnitus patients with normal hearing n=ear

Békésy dip \ PTA dip	PTA dip										Total (%)
	No	125	250	2 k	3 k	4 k	6 k	8 k			
No	9	1	1		3			3			17 (35.4)
125				1							1 (2.1)
250		1									1 (2.1)
500			1								1 (2.1)
3 k						2					2 (4.2)
4 k	2				1	3					6 (12.5)
5 k				2	2	3		1			8 (16.7)
6 k	2		2		1		2	4			11 (22.9)
8 k									1		1 (2.1)
Total (%)	13 (27.1)	2 (4.2)	4 (8.3)	3 (6.3)	7 (14.6)	8 (16.7)	2 (4.2)	9 (18.8)			48

순음청력도와 Békésy청력도의 dip 주파수

Table 5는 순음청력도에서 나타난 dip 주파수와 Békésy 청력도의 dip 주파수와 관계가 보인 것으로 저음역, 중음역 및 고음역별로 주파수군을 나누면 같은 주파수 군에서 양자가 일치하는 귀수는 전체 48귀 중 dip이 없었던 귀를 포함하여 33귀로 68.8%에 해당하였고, 양 청력도의 동일한 주파수군에 dip이 있었던 귀는 24귀로 전체의 50%이었다. 그러나 양 청력도의 어느 주파수나 dip이 있었던 27귀 중에 동일 주파수군에 dip이 있었던 귀수는 24귀, 88.9%로 주파수군 별로는 상당한 연관이 있음을 알았다.

고 찰

난청과 이명 주파수간에는 깊은 관계가 있고, 이명 주파수, 순음청력형 및 난청의 원인질환에 대한 연구는 병변 부위를 아는데 도움을 준다고 하였다.³⁾ 즉 음향외상이나, 이독성 약제 등에 의한 난청이 발생하면 와우에서 청각야에 이르는 청각 전도로에 변화가 일어나고, 이는 자발신경 방전수와 신경동조발화가 증가되며, 따라서 난청에 동반하여 이명이 발생할 수 있고,⁴⁻⁶⁾ 이명의 발생 부위도 중추에서 말초에 이르기까지 여러 부위가 예상된다고 하였다. 또한 이들⁶⁾⁷⁾의 연구에서는 20 dB 이상의 난청에서는 주파수 지도 재구축이 일어나면서 자발신경 방전수와 신경동조발화가 증가하나, 20 dB 미만의 난청에서는 명확한 주파수 지도 재구축은 없지만 자발신경 방전수와 신경동조발화는 증가하여 이명이 발생할 수 있다고 하였다. 난청에 동반된 이런 변화는 순음청력의 난청형과 이명 주파수와의 관련성을 의미한다고 할 수 있다.

Norena 등⁸⁾도 이명을 음조와 같은 한 주파수가 아닌 대역폭(band width)을 가진 것으로 “이명 spectrum”의 개념으로 표현하였고, 이명 spectrum은 난청 주파수에 해당하며 이명과 난청은 상관한다고 하면서, 이명 환자에서 이명역치보다 청력역치가 다소 높다고 하였다. 또한, Weisz 등⁹⁾의 연구에서도 청력장애가 이명의 필요조건이 아니라는 의견에 대해 분명히 반론을 제시하였다. 즉 이는 난청 없는 이명이 없다는 뜻이다. 즉 유모세포의 심한 손상이 이명에 관여하는 것으로 생각하였다. 즉 이들의 연구 결과는 무난청성 이명 증례에서는 흥분성 신

경질의 동조발화가 용이해지고, 자발신경 방전수, 신경동조발화의 증가 등 어떠한 장애나 변화가 이미 일어나고 있다는 것이다. 즉 이명은 청각계에서 필요 이상의 전기적 활동이 일어나고 있다는 의미이다. 그러나 이 전기적 활동에 의한 반응은 대개 습관화되어 있으나 이 습관화가 실패하면 이명을 호소하는 것이다.¹⁰⁻¹³⁾

따라서 이명을 동반한 난청 환자에서 순음청력도와 이명 주파수와의 관계를 추정할 수 있으나, 소위 무난청성 이명 환자에서의 이명과 순음청력도와의 관계는 쉽게 알 수 없는 경우가 있다. 즉 순음청력검사(자기청력검사(Békésy청력검사)에서는 알 수 있으므로, 이명 주파수와 연속주파수 자기청력검사의 결과를 비교하는 것도 도움이 될 것으로 생각되었다. 또한 미세한 dip이 있는 주파수 범위에서는 고정주파수 특히 Tsuiki 등¹⁴⁾이 고안한 detailed Békésy청력검사를 할 수 있을 것이다. 이는 dip이 있는 곳의 주위 주파수 사이를 10분간 묘사하면 더욱 정확한 dip의 주파수를 알 수 있다. 그러나 본 연구에서는 detailed Békésy 청력검사는 추후 연속주파수 자기청력검사(자기청력계기(Békésy audiometer)를 개조(remodeling)하여 시행하기로 하고, 우선 표준 연속주파수 자기청력계기로 125 Hz에서 8,000 Hz까지의 묘사로 어느 주파수에 난청이 있으며, 그 주파수와 환자가 호소하는 이명 주파수와의 일치 여부를 관찰하였다.

그 결과 이명주파수가 순음청력검사의 dip 주파수와 동일 주파수 또는 이웃한 주파수군에서 나타나는 예는 대상귀의 74.3%에서, Békésy청력검사에서는 83.9%에서 나타났다. 또한 이들 청력도의 dip은 3 kHz 이상의 고음역에서 각각 74.3%, 90.3%로 나타나, 이명주파수가 고주파에서 66.7%를 차지한다는 것 보다는 높은 비율이었다.

이 결과를 고찰하면 무난청성 이명 환자의 이명 주파수와 미세한 dip 주파수가 일치하는 것은 검사대상 예의 70% 이상에서 나타나고, 순음 및 Békésy청력도에 미세한 dip을 보인 증례는 3 kHz 이상의 고주파수에 많았고, dip 주파수 이외의 주변 주파수에도 청력역치가 상승한 예가 많아, 이명 주파수는 난청의 주변 주파수에서 나타나는 예가 많다는 것을 알 수 있다. 즉 난청에 나타나는 주파수에 한정되어 이명이 나타나는 것이 아니고

그 주위에도 장애요인이 과급된다는 것을 의미한다고 추정되었다.

또한 Barnea 등²⁾은 순음청력검사서 난청이 없는 이명 환자의 50% 이상이 8 kHz 이상의 이명을 갖고 있다고 주장하여 Cahani 등¹⁵⁾의 의견과 상반되었다. 본 연구에서도 고주파수에 난청이 없음에도 불구하고, 고주파수 이명이 많은 것으로 보아, 순음 및 Békésy청력검사 역시 8 kHz 이상의 고주파수까지 검사할 수 있도록 하는 것이 필요적이라고 생각되었다.

그러나 무난청성 이명 환자의 청력도를 관측하는데 있어서 극히 주의를 요하는 것은 순음청력도가 정상소견을 보이더라도 Békésy청력도에서 이명 주파수와 떨어진 곳과 그리고 이명 주파수 주변에 청력장애가 있을 수 있고, dip을 가진 예에서 난청의 주파수 범위가 dip보다 광범위할 수 있을 것이다. 그러나 자기청력검사에서 input-output 시간의 길이에 따라 청력도의 묘사에 시간적 차가 있어 dip 주변 주파수에도 반드시 난청이 있을 것이라는 단정은 위험하다고 사료된다.

또한 순음 및 자기청력도에서 정상 청력을 보이는 이명 예에서는 detailed Békésy청력검사가 필요할 것이며, 만약 고주파수 이명이 있는 예에서는 고주파수 청력검사계기 또는 이명검사기기로 더욱 상세한 청력검사가 필요할 것으로 생각된다.

Okumura 등³⁾은 미세한 dip 주파수와 이명 주파수가 일치하는 것은 소수뿐으로, 순음청력도의 미세한 dip이 Békésy청력도에서는 보이지 않는 예가 있어, 이는 비전형적 전도로에 의한 이명일 가능성이 있다고 하였다. 또한 역으로 순음청력도에서 나타난 것보다 Békésy청력도에서의 난청이 더 심한 예가 있어, 이런 예는 난청 정도가 30 dB 이상일 가능성도 있다고 주장하면서, 무난청성 이명 증례에 있어서 상세한 순음청력도의 관측과 이명 주파수의 부위를 해석하므로, 순음청력검사와 이명검사로는 검출할 수 없는 장애 부위를 유추할 수 있다고 하였으나, 본 연구의 결과 Békésy청력검사를 추가하므로 장애 부위를 더욱 확실히 알 수 있다고 추찰되었다.

Weisz 등⁹⁾은 또한 off-frequency listening 이론을 설명하면서, 내유포세포가 심하게 손상 받은 영역에 음 자극이 가해지면 주위의 덜 또는 손상받지 않은 부위가

음자극에 대한 정보를 받는데 사용된다고 하였다. 그리고 Moore¹⁶⁾는 역치상의 소음이나 음조가 주어지면 하나의 청각필터에서만 출력이 일어나는 게 아니고, 이웃 청각필터에서 출력이 일어나며 그 양은 음의 강도에 비례한다고 하였으며, 이런 과정은 대칭적이지 않다고 하였다. 그 이유에 대해 Moore와 Glasberg¹⁷⁾는 주파수의 청각여과(auditory filter) 대역이 증가하여 더 높은 주파수 여과(filter)에서 보다 큰 출력이 일어나기 때문이라 하였다. 예를 들어 소음성 난청에서는 높은 주파수에 더 많은 손상을 야기하고 저주파수는 비교적 보존된다. 이명 환자에서도 고주파수 이명이 있을 경우 이명 주파수 영역에 내이 장애가 있을 것이다.⁸⁾ 이런 경우에는 이명 주파수 보다 낮은 주파수 영역의 내이에서 주는 정보 즉 청력은 보다 신뢰성이 있는 것이라고 하였다.⁹⁾

결론적으로 이명은 내유포세포의 심한 손상이 있을 때 나타나는 증상이며, 이는 청각피질의 어느 부위에 구심성 차단이 일어나서 야기된 것이다. 따라서 청력검 사상 난청이 없는 이명 환자에서 이명 주파수 스펙트럼은 내이 손상 부위를 알아켜 주는 것이다. 즉 이명을 가진 환자에서 순음청력검사만으로 난청이 없다고 단정하는 것은 위험하다. 따라서 연속적으로 기록할 수 있는 Békésy청력검사나 이명 스펙트럼 주변 주파수에 대해 Békésy청력계기를 이용한 정밀자기청력검사(detailed automatic recording audiometry)를 한다면 더욱 간편하고 상세하게 난청 부위를 알 수 있을 것으로 추측되며, 추후 정밀자기청력검사를 이용한 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

결 론

정상청력을 보이는 이명환자에서 이명 주파수에 동일하게 또는 이웃한 주파수에서 dip을 나타내는 경우는 순음청력도의 74.3%에서, Békésy청력도의 83.9%에서 있었다. 또한 이들의 dip은 3 kHz 이상의 고음역에서 각각 74.3%, 90.3%를 차지하여, 전체 이명의 주파수가 고주파에서 66.7%를 차지한다는 것보다는 높은 비율이었다. 따라서 정상청력을 보이는 이명 환자에서 이명 주파수 주위에 미세한 dip(small dip)이 있는 예가 대 상예의 ⅓ 이상에서 나타난다는 것을 알 수 있었고, dip

의 주파수를 좀 더 명확히 하기 위해서는 고주파수 청력 검사계기, 고주파수 이명검사계기 및 detailed Békésy 청력검사계기를 이용한 검사가 추가되어야 하리라고 추

중심 단어 : 이명 · 주파수.

REFERENCES

- 1) 耳鼻研究會. 標準耳鳴検査法, 日本;1993. p.6-7.
- 2) Barnea G, Attias J, Gold S, Shahar A. *Tinnitus with normal hearing sensitivity: Extended high-frequency audiometry and auditory-nerve brain-stem-evoked responses. Audiology* 1990;29:36-45.
- 3) Okumura H, Seki S, Sato H, Takahashi S. *Location of tinnitus frequency examined from the pure tone audiometric pattern. Pract Otol* 2006;99:523-30.
- 4) Eggermont JJ. *Central tinnitus. Auris Nasus Larynx* 2003; 30 suppl:S7-12.
- 5) Kaltenbach JA, Rachel JD, Mathog TA, Zhang J, Falzarano PR, Lewandowski M. *Cisplatin-induced hyperactivity in the dorsal cochlear nucleus and its relation to outer hair cell loss: Relevance to tinnitus. J Neurophysiol* 2002;88:699-714.
- 6) Seki S, Eggermont JJ. *Changes in spontaneous firing rate and neural synchrony in cat primary auditory cortex after localized tone-induced hearing loss. Hear Res* 2003;180: 28-38.
- 7) Seki S, Eggermont JJ. *Changes in cat primary auditory cortex after minor-to-moderate pure-tone induced hearing loss. Hear Res* 2002;173:172-86.
- 8) Norena A, Micheyl C, Chery-Croze S, Collet L. *Psychoacoustic characterization of the tinnitus spectrum: Implications for the underlying mechanisms of tinnitus. Audiol Neurootol* 2002;7:358-69.
- 9) Weisz N, Hartmann T, Dohrmann K, Schlee W, Norena A. *High-frequency tinnitus without hearing loss does not mean absence of deafferentation. Hear Res* 2006;222:108-14.
- 10) McKee GJ, Stephens SD. *An investigation of normally hearing subjects with tinnitus. Audiology* 1992;31:313-7.
- 11) de Magalhaes SL, Fukuda Y, Liriano RI, Chami FA, Barros F, Diniz FL. *Relation of hyperacusis in sensorineural tinnitus patients with normal audiological assessment. Int Tinnitus J* 2003;9:79-83.
- 12) Riga M, Papadas T, Werner JA, Dalchow CV. *A clinical study of the efferent auditory system in patients with normal hearing who have acute tinnitus. Otol Neurotol* 2007;28: 185-90.
- 13) Nieschaik M, Hustert B, Stoll W. *Auditory reaction times in patients with chronic tinnitus with normal hearing. Am J Otol* 1998;19:611-8.
- 14) Tsuiji T, Hashimoto M, Satodate T, Matsuzaka Y. *Detailed audiometry. Audiology JPN* 1974;17:183-9.
- 15) Cahani M, Paul G, Shahar A. *Tinnitus pitch and acoustic trauma. Audiology* 1983;22:357-63.
- 16) Moore BC. *An Introduction to the psychology of hearing. Academic Press, Amsterdam;2003.*
- 17) Moore BC, Glasberg BR. *Suggested formulae for calculating auditory-filter band widths and excitation patterns. J Acoust Soc Am* 1983;74:750-3.