



Difference in Thresholds Between Auditory Brainstem Response Test and Pure Tone Audiometry by Frequency

Taehun Lim^{ID}, Joo Hyung Oh, Joon Bum Joo, Ju Eun Cho, Pona Park, and Jong Yang Kim^{ID}

Department of Otorhinolaryngology, National Police Hospital, Seoul, Korea

난청 환자에서 청성뇌간반응검사와 순음청력검사 간 주파수별 역치 차이 분석

임태현 · 오주형 · 주준범 · 조주은 · 박보나 · 김종양

국립경찰병원 이비인후과

Received July 22, 2021

Revised November 1, 2021

Accepted November 2, 2021

Address for correspondence

Jong Yang Kim, MD, PhD
Department of Otorhinolaryngology,
National Police Hospital,
123 Songi-ro, Songpa-gu,
Seoul 05715, Korea
Tel +82-2-3400-1828
Fax +82-2-400-0287
E-mail austin_kim@hanmail.net

Background and Objectives There is no clear standard for the difference in the thresholds of auditory brainstem response (ABR) and pure tone audiometry (PTA) when using ABR to evaluate the reliability of PTA. Therefore, we assessed the difference in the thresholds of ABR and PTA for each frequency. Consequently, we present here the actual difference values between the two tests that can be used as a reference in the clinic.

Subjects and Method We retrospectively assessed the audiometry results of 129 ears. Ears in which the hearing thresholds of each frequency continuously declined were classified as the downward group. We compared the average of differences between the two tests by frequency. The differences were compared for each hearing level from 50 dB or higher.

Results For all ears, the appropriate range of difference value was ± 5 dB at 2 kHz. At 1 kHz, the ABR threshold was 10 dB higher than PTA, and it was 10 dB less than PTA at 4 kHz. In the downward group, the difference value increased by 10 dB at 1 kHz and 4 kHz. In the subgroups at each hearing level, the difference value showed similar results ($p < 0.05$).

Conclusion The difference in the threshold, regardless of the severity or tendency of hearing loss, was the smallest at 2 kHz and the range was ± 5 dB. ABR was 10 dB higher at 1 kHz and 10 dB lower at 4 kHz than PTA. In the downward group, the difference at 1 kHz and 4 kHz increased by 10 dB each. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2023;66(1):7-14

Keywords Audiometry; Auditory brainstem responses; Auditory threshold; Hearing loss.

서론

청성뇌간반응검사(auditory brainstem response, ABR)는 외이도를 통한 음자극 후 전극을 부착하여 청신경 및 뇌간에 걸친 청각전도로에서 발생하는 전기적 변화를 기록하는 검사로, 순음청력검사(pure tone audiometry, PTA)와 비교하여 객관적으로 청력 역치를 평가할 수 있으면서, 마취, 수면 등에 영향을 받지 않는 비침습적인 검사로 이비인후과에서 널리

사용하고 있는 청력검사법이다.

이비인후과 임상에서 ABR은 청력검사 시 자발적인 협조가 어려운 유소아나 기저질환이 있는 노인의 청력 평가 시 많이 사용되고 있으며, 또한 위난청 의심 환자와 청각장애진단 시 PTA의 신뢰도 확인을 위한 참고 검사로도 활용되고 있다. 그러나 특히 이렇게 환자가 시행한 PTA의 신뢰도를 확인하고자 할 때, 현재 정확히 정립된 PTA와 ABR 역치 간 관계에 대한 기준이 없어 어느 정도의 차이를 기준으로 신뢰도를 평가하여야 할 지 판단이 어려운 경우가 존재한다.

일반적으로 클릭음을 이용한 ABR의 역치값은 와우의 기저부 및 고음역대 주파수를 자극하여 1 kHz 이상의 주파수

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

역치와 연관이 있다고 알려져 있는데,¹⁾ 현재까지 발표된 PTA와 ABR 간의 관계에 대한 과거 연구들에 따르면 클릭음을 이용한 ABR의 역치가 PTA의 2 kHz와 4 kHz 역치와 연관성이 있다는 연구가 있으며,²⁾ 1-4 kHz 역치와 상관관계가 높다고 확인한 연구도 존재한다.³⁾ 또한 PTA에서 수평형의 청력 경향을 보이는 환자에서는 일반적으로 ABR 역치가 성인에서 5-10 dB, 소아에서 10-20 dB 높게 나타난다는 실제 차이에 대한 보고도 있었다.⁴⁾ ABR 검사가 좀 더 보편화되고 많이 활용되면서, 국내에서도 검사 간 상관관계에 대한 연구가 많이 진행되어 최근에는 난청의 수평형, 하향형, 상향형 등의 유형에 따른 상관도를 확인한 연구도 보고되었다.⁵⁾ 그러나 PTA와 ABR 검사의 비교가 필요한 청각장애 진단 시에는 노인성 난청 환자가 다수를 차지하는데, 고주파수로 갈수록 청력 역치가 증가하는 이러한 특징적인 하향형 난청 경향에서는 어떤 주파수를 대표적으로 비교하여야 할지, 또한 주파수별로 얼마의 값을 기준으로 비교하여야 하는지 등 주파수 간에 역치 차이가 많이 나는 경우 임상에서 판단이 모호한 경우가 종종 있다.

따라서 본 연구에서는, 하향형 및 비하향형 난청 환자의 주파수별 PTA 역치와 ABR 역치의 실제 차이값을 확인하여, 청각장애 진단 시 주파수별로 참고할 수 있는 두 검사 간의 실제 차이값을 제시하고자 한다.

대상 및 방법

연구의 대상은 2017년 1월 1일부터 2019년 12월 31일까지 청각장애 진단을 위해 외래에 내원하여 PTA 3회와 ABR 1회를 모두 시행한 난청환자의 양측 귀를 대상으로 하였으며, 기관 내 Institutional Review Board (IRB)의 승인하에 후향적으로 의무기록과 청력검사 결과지를 검토하였다(IRB No. 11100176-202104-HR-003).

총 202개의 귀가 확인되었으며, 각 환자의 성별, 나이와 함께 각 귀별로 시행한 총 3회의 PTA와 1회의 ABR 결과를 수집하였다. 최대한 감별 가능한 위난청을 배제하여 연구의 신뢰도를 확보하고자 다음 네 가지 기준에 해당하는 귀를 연구에서 제외하였다. 1) PTA 검사상 6분법 평균 역치가 80 dB 이상인 귀 34개, 2) PTA 검사상 1, 2, 4 kHz 주파수의 역치가 최소 하나라도 측정 불능에 해당되는 귀 29개, 3) PTA와 어음청취역치검사(speech reception threshold test, SRT) 검사 간 역치 차이가 15 dB 이상인 귀 3개, 4) 3회의 PTA 검사 간 1, 2, 4 kHz 각 주파수에서의 역치 차이가 각각 10 dB 이상인 귀 7개. 그 결과 최종적으로 129개의 귀가 연구에 포함되었다(Fig. 1).

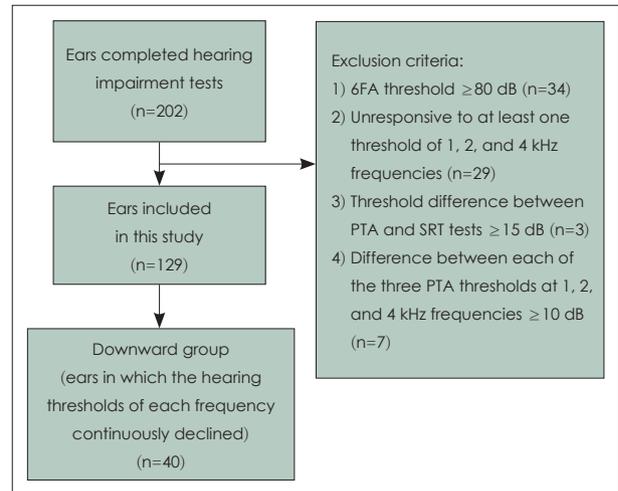


Fig. 1. Summary of the data collection. PTA, pure tone audiometry; SRT, speech reception threshold; 6FA, average of six frequencies which is measured by following formula: $\{(500 \text{ Hz} + [2 \times 1 \text{ kHz}] + [2 \times 2 \text{ kHz}] + 4 \text{ kHz}) / 6\}$.

PTA는 AudioStar Pro™ (GSI, Eden Prairie, MN, USA)를 사용하여, 125 Hz부터 8 kHz까지 각 주파수 영역별로 5 dB 간격으로 기도와 골도 청력 역치를 구하였으며, 6분법 평균치를 따로 계산하여 기록하였다. ABR은 Navigator Pro™ (Natus Medical, CA, USA)를 사용하였으며, 숙련된 청각사 1인이 담당하여 환자의 두피에 전극을 붙이고 삽입형 이어폰(EA-3A)를 착용시킨 후, 움직임에 의한 오류를 최소화하기 위해 수면을 유도한 상태에서, 지속시간 100 μs의 클릭음을 90 dB nHL부터 10 dB nHL 단위로 낮추면서 외이도를 통해 전달하였다. 각 전극에서 측정되는 뇌파 신호의 기록 시간은 10 ms 단위로 기록되었다. 검사의 판독은 1차적으로 청각사가 기기에서 출력되는 신호 중 잡음이나 인위적인 움직임에 의한 부수적 신호로 판단되는 부분을 필터링하여 V 파형이 나타나는 역치를 기록하였다. 이후 2차적으로 90 dB nHL부터 각 자극 강도별로 ABR 파형이 기록된 그래프와 V 파형이 체크된 부분, 역치값이 포함된 기록지를 진료 시 전문의가 재확인하였다.

1, 2, 4 kHz 세 주파수 각각에서 3회의 PTA 역치의 평균값을 계산하였고, ABR 역치값에서 해당 주파수별 역치값을 빼서 차이값을 기록하였다. 또한 주파수들의 평균값과의 비교를 위해 $(500 \text{ Hz} + 2 \times 1 \text{ kHz} + 2 \times 2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}) / 6$ 으로 계산된 6분법 평균 역치값과, $(1 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}) / 3$ 으로 계산된 3분법 평균 역치값, $(2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}) / 2$ 로 계산된 2분법 평균 역치값을 계산하여 ABR 역치값과의 차이를 기록하였다. 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance)을 이용하여 계산된 두 검사 간 차이값에 대하여 통계적 비교를 시행하였다.

하향형 유형의 난청에서 두 검사 간 차이를 확인하고자, 두 가지 유형으로 분류하였다. PTA 검사상 1, 2, 4 kHz의 세 주파수의 청력 역치가 연속으로 최소 5 dB 이상씩 하강하는 형태의 귀들을 하향형 유형(downward type)으로 분류하였고, 총 40개의 귀가 확인되었다. 그리고 이를 제외한 나머지 유형들을 비하향형 유형(non-downward type)으로 분류하였고, 89개의 귀가 포함되었다. 분류된 하향형과 비하향형 그룹 각각에서, ABR과 각 주파수별 PTA 역치값의 차이를 계산하여 일원배치 분산분석을 시행하였다.

난청의 정도별로 역치 차이를 확인해보고자, 전체 귀와 하향형 그룹, 비하향형 그룹 내에서 ABR 결과값을 기준으로 10 dB 간격으로 청력 그룹을 나누어, 각 그룹별로 주파수별 역치값의 차이를 확인하였다. 연구에 포함된 귀들은 모두 50 dB 이상 90 dB 이하까지 분포하였으며, 50 dB 미만이나 반응이 나타나지 않은 귀는 없었다.

통계 분석은 SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) 프로그램을 사용하였고, 각 통계 분석 시 95% 신뢰 구간을 확인하여 각 주파수별로 ABR과 PTA 역치 차이의 범위를 확인하였으며, 모든 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 를 기준으로 평가하였다.

결 과

연구에 포함된 129개 귀의 평균 연령은 73.99세였으며, 성별은 남성 76.00%, 여성 24.00%로 구성되었다. ABR 검사 결과를 바탕으로 분류된 청력 분포에는 90 dB가 4.65%, 80 dB가 15.50%였으며, 70 dB와 60 dB 귀가 각각 39.53%, 35.66%, 50 dB가 4.65%였다. 본 연구에서 설정한 하향형 청력에 해당하는 귀는 40개였으며, 평균 연령은 74.23세, 성별 분포는 남성이 87.50%, 여성이 12.50%였다. 청력 분포는 70 dB가 45.00%로 가장 많았으며, 60 dB가 27.50%로 두 번째로 많았다. 비하향형 청력 귀는 총 89개로, 평균연령은 73.89세, 성별은 남성이 70.79%, 여성이 29.21%였다(Table 1).

전체 귀에 대하여 1, 2, 4 kHz 각 주파수에서의 PTA 역치값과 ABR 역치값의 차이를 비교한 결과, 2 kHz에서 ABR의 역치값이 PTA 역치값보다 평균 0.44 dB 높은 것으로 나타났으며 이는 1 kHz (평균 역치 차이값: 5.48 dB), 4 kHz (평균 역치 차이값: -7.88 dB)에서와 비교하여 가장 유의하게 차이가 적었다(95% 신뢰구간: -0.81~1.68, $p < 0.001$) (Table 2).

2분법과 3분법, 6분법의 세 가지 평균 청력 역치값과 ABR 역치값의 차이를 비교한 결과, ABR 역치값이 1, 2, 4 kHz를 평균시킨 3분법 역치값보다 0.65 dB 낮은 것으로 나타났으며, 이는 2, 4 kHz를 평균한 2분법(평균 역치 차이값: -3.72

Table 1. Demographic data of all ears

Characteristics	All ears (n=129)	Downward group (n=40)	Non-downward group (n=89)
Age (year)	73.99	74.23	73.89
Sex			
Male	98 (76.00)	35 (87.50)	63 (70.79)
Female	41 (24.00)	5 (12.50)	26 (29.21)
Hearing loss* (dB)			
90	6 (4.65)	1 (2.50)	5 (5.62)
80	20 (15.50)	7 (17.50)	13 (14.61)
70	51 (39.53)	18 (45.00)	33 (37.08)
60	46 (35.66)	11 (27.50)	35 (39.33)
50	6 (4.65)	3 (7.50)	3 (3.37)

Data are presented as n (%). *hearing loss which is measured by auditory brainstem response

dB), 500 Hz, 1, 2, 4 kHz를 평균한 6분법(평균 역치 차이값: 3.27 dB)에서와 비교하여 가장 유의하게 차이가 적은 것으로 나타났다(95% 신뢰구간: -1.68~0.37, $p < 0.001$) (Table 2).

ABR 역치 80 dB와 90 dB가 포함된 그룹에는 26개의 귀가 포함되었으며, 4 kHz에서 ABR 역치값이 PTA 역치값보다 1.92 dB 낮은 것으로 확인되었으며, 이는 1 kHz (평균 역치 차이값: 12.31 dB), 2 kHz (평균 역치 차이값: 6.92 dB)에서와 비교하여 가장 유의하게 차이가 적었다(95% 신뢰구간: -6.61~2.76, $p < 0.001$) (Table 2). 70, 60, 50 dB 청력 그룹에서는 모두 2 kHz에서 ABR과 PTA 역치값의 차이가 가장 유의하게 적은 것으로 나타났는데, 70 dB 그룹에서는 ABR 역치가 0.78 dB 높았고(95% 신뢰구간: -1.05~2.62, $p < 0.001$), 60 dB 그룹에서는 ABR이 1.56 dB 낮았으며(95% 신뢰구간: -3.38~0.27, $p < 0.001$), 50 dB에서는 ABR이 2.50 dB 낮은 것을 확인하였다(95% 신뢰구간: -7.54~2.54, $p < 0.001$) (Table 2).

하향형으로 분류된 난청 귀 총 40개에서는, 2 kHz에서 ABR의 역치값이 PTA보다 0.21 dB 높은 것으로 확인되었으며(95% 신뢰구간: -1.90~2.32, $p < 0.001$), 1 kHz (평균 역치 차이값: 13.17 dB), 4 kHz (평균 역치 차이값: -15.17 dB)에서와 비교하여 유의하게 차이가 적었다(Table 3).

하향형 난청 그룹에서 2분법, 3분법, 6분법의 세 가지 평균 역치값과 ABR 역치와의 차이는 3분법 역치값에서 ABR 역치가 0.60 dB 더 낮은 것으로 나타났으며, 2분법(평균 역치 차이값: -7.48 dB), 6분법(평균 역치 차이값: 5.54 dB)과 비교하여 가장 유의하게 차이가 적었다(95% 신뢰구간: -1.98~0.78, $p < 0.001$) (Table 3).

하향형 난청 귀 중 80 dB와 90 dB가 포함된 세부 청력 그룹에서는, 2 kHz 주파수에서 ABR 역치값이 PTA에 비해 2.29 dB 높은 것으로 나타났으며, 이는 1 kHz (평균 역치 차이값:

Table 2. Difference in threshold value for each frequency between ABR test and PTA in all ears

Frequency	Mean*	SD	95% confidence interval	F	p-value	Scheffe
1 kHz (a)	5.48	9.96	3.74-7.21	73.580	<0.001	a, c > b
2 kHz (b)	0.44	7.14	-0.81-1.68			
4 kHz (c)	-7.88	9.44	-9.53--6.24			
2FA (a)	-3.72	6.76	-4.90--2.54	38.799	<0.001	a, c > b
3FA (b)	-0.65	5.87	-1.68-0.37			
6FA (c)	3.27	6.50	2.13-4.40			
≥80 dB				12.021	<0.001	a, b > c
1 kHz (a)	12.31	11.53	7.65-16.96	68.051	<0.001	a, c > b
2 kHz (b)	6.92	8.23	3.60-10.25			
4 kHz (c)	-1.92	11.59	-6.61--2.76			
70 dB				17.579	<0.001	a, c > b
1 kHz (a)	8.43	7.90	6.21-10.65			
2 kHz (b)	0.78	6.53	-1.05-2.62			
4 kHz (c)	-9.58	8.87	-12.07--7.08	6.073	0.012	a, c > b
60 dB						
1 kHz (a)	-3.22	4.28	-4.50--1.95			
2 kHz (b)	-1.56	6.15	-3.38-0.27	6.073	0.012	a, c > b
4 kHz (c)	-8.59	7.05	-10.68--6.50			
50 dB						
1 kHz (a)	4.72	11.18	-7.01-16.45	6.073	0.012	a, c > b
2 kHz (b)	-2.50	4.80	-7.54-2.54			
4 kHz (c)	-10.89	7.63	-19.04--2.74			

*the mean value was expressed as the ABR threshold minus PTA threshold. ABR, auditory brainstem response; PTA, pure tone audiometry; SD, standard deviation; 2FA, average of two frequencies which is measured by following formula: $([2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/2)$; 3FA, average of three frequencies which is measured by following formula: $([1 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/3)$; 6FA, average of six frequencies which is measured by following formula: $\{(500 \text{ Hz} + [2 \times 1 \text{ kHz}] + [2 \times 2 \text{ kHz}] + 4 \text{ kHz})/6\}$

17.08 dB), 4 kHz (평균 역치 차이값: -14.38 dB)에서와 비교하여 유의하게 차이가 적었다(95% 신뢰구간: -6.46~11.04, $p < 0.001$). 70 dB 그룹과 50-60 dB 그룹에서도 모두 2 kHz 주파수에서 ABR 역치값이 각각 1.48 dB (95% 신뢰구간: -1.36~4.32, $p < 0.001$), -2.62 dB (95% 신뢰구간: -4.87~-0.36, $p < 0.001$)의 차이로 가장 유의하게 차이가 적었다(Table 3).

하향형으로 분류된 귀를 제외한 89개의 나머지 비하향형 난청 귀에서의 결과, 2 kHz 주파수에서 ABR 역치값이 PTA 비해 0.45 dB 높은 것으로 확인되었고, 이는 1 kHz (평균 역치 차이값: 1.91 dB), 4 kHz (평균 역치 차이값: -4.72 dB)와 비교하여 가장 유의하게 차이가 적었다(95% 신뢰구간: -1.14~2.04, $p < 0.001$) (Table 4).

비하향형 난청 귀 그룹에서 주파수들의 평균 청력 역치값에서도 ABR 역치가 3분법 평균 역치값에 비해 0.79 dB 낮은 것이 가장 유의하게 적은 차이인 것으로 나타났으며(95% 신뢰구간: -2.18~0.60, $p < 0.001$), 2분법은 평균 -2.13 dB, 6분법은 2.13 dB의 차이를 보였다(Table 4).

비하향형 난청의 세부 청력 그룹 결과는, 70 dB 그룹과 50-60 dB 그룹에서 모두 2 kHz 주파수에서 가장 유의하게 적은

차이를 보였는데, 70 dB 그룹에서는 ABR이 0.40 dB 높았으며(95% 신뢰구간: -2.07~2.88), 50-60 dB 그룹에서는 3.55 dB 낮았다(95% 신뢰구간: -5.12~-1.98). 반면 80 dB와 90 dB 청력이 포함된 그룹에서는 4 kHz에서 ABR 역치가 3.61 dB 더 높은 것으로 가장 차이가 적었으나 통계적 유의성은 없었다(95% 신뢰구간: -0.87~8.09, $p = 0.144$) (Table 4).

PTA와 ABR 검사 간 회귀분석 결과, 전체 귀에서는 1, 2, 4 kHz 주파수 모두 유의미한 상관관계가 있었으나 2 kHz에서 결정계수 0.445, 상관계수 0.667로 두 검사 간 상관도가 높게 나타났다. 하향형 청력을 가진 귀 집단에서는, 2 kHz에서 결정계수 0.549, 상관계수 0.741에 비해, 4 kHz에서 결정계수 0.727, 상관계수 0.853으로, 2 kHz도 높은 상관성을 보이거나 4 kHz에서 보다 높은 상관성을 나타낼 수 있었다(Table 5).

고찰

과거 PTA와 클릭유발 ABR 검사의 역치 간 상관관계 분석을 시행한 몇몇 연구들이 존재한다. 1977년 Coats와 Martin⁶⁾

Table 3. Difference in threshold value for each frequency between ABR test and PTA in downward group

Frequency	Mean*	SD	95% confidence interval	F	p-value	Scheffe
1 kHz (a)	13.17	8.15	10.56–15.77	168.332	<0.001	a, c > b
2 kHz (b)	0.21	6.59	-1.90–2.32			
4 kHz (c)	-15.17	5.78	-17.02–-13.32			
2FA (a)	-7.48	4.57	-8.94–-6.02	74.101	<0.001	a, c > b
3FA (b)	-0.60	4.31	-1.98–0.78			
6FA (c)	5.54	5.41	3.81–7.27			
≥80 dB				36.815	<0.001	a, c > b
1 kHz (a)	17.08	3.99	14.57–19.60			
2 kHz (b)	2.29	10.46	-6.46–11.04			
4 kHz (c)	-14.38	5.19	-18.71–-10.04			
70 dB				133.401	<0.001	a, c > b
1 kHz (a)	14.17	5.86	11.25–17.08			
2 kHz (b)	1.48	5.71	-1.36–4.32			
4 kHz (c)	-16.57	5.44	-19.28–-13.87			
50–60 dB				60.181	<0.001	a, c > b
1 kHz (a)	6.79	4.11	4.41–9.16			
2 kHz (b)	-2.62	3.91	-4.87–-0.36			
4 kHz (c)	-13.81	6.49	-17.55–-10.06			

*the mean value was expressed as the ABR threshold minus PTA threshold. ABR, auditory brainstem response; PTA, pure tone audiometry; SD, standard deviation; 2FA, average of two frequencies which is measured by following formula: $([2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/2)$; 3FA, average of three frequencies which is measured by following formula: $([1 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/3)$; 6FA, average of six frequencies which is measured by following formula: $\{(500 \text{ Hz} + [2 \times 1 \text{ kHz}] + [2 \times 2 \text{ kHz}] + 4 \text{ kHz})/6\}$

Table 4. Difference in threshold value for each frequency between auditory brainstem response test and pure tone audiometry in non-downward group

Frequency	Mean*	SD	95% confidence interval	F	p-value	Scheffe
1 kHz (a)	1.91	8.96	0.02–3.80	14.983	<0.001	a, c > b
2 kHz (b)	0.45	7.54	-1.14–2.04			
4 kHz (c)	-4.72	8.89	-6.59–-2.85			
2FA (a)	-2.13	6.97	-3.60–-0.67	9.068	<0.001	a, c > b
3FA (b)	-0.79	6.60	-2.18–0.60			
6FA (c)	2.13	6.92	0.67–3.59			
≥80 dB				2.013	0.144	a, c = b
1 kHz (a)	7.96	9.86	3.06–12.87			
2 kHz (b)	8.98	6.32	5.84–12.12			
4 kHz (c)	3.61	9.01	-0.87–8.09			
70 dB				18.544	<0.001	a, c > b
1 kHz (a)	5.30	7.11	2.78–7.83			
2 kHz (b)	0.40	6.98	-2.07–2.88			
4 kHz (c)	-5.76	8.04	-8.61–-2.91			
50–60 dB				5.498	0.005	a, c > b
1 kHz (a)	-3.90	6.29	-5.97–-1.84			
2 kHz (b)	-3.55	4.78	-5.12–-1.98			
4 kHz (c)	-7.76	7.12	-10.11–-5.42			

*the mean value was expressed as the ABR threshold minus PTA threshold. ABR, auditory brainstem response; PTA, pure tone audiometry; SD, standard deviation; 2FA, average of two frequencies which is measured by following formula: $([2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/2)$; 3FA, average of three frequencies which is measured by following formula: $([1 \text{ kHz} + 2 \text{ kHz} + 4 \text{ kHz}]/3)$; 6FA, average of six frequencies which is measured by following formula: $\{(500 \text{ Hz} + [2 \times 1 \text{ kHz}] + [2 \times 2 \text{ kHz}] + 4 \text{ kHz})/6\}$

Table 5. Correlation analysis and simple linear regression analysis between pure tone audiometry and auditory brainstem response test threshold

Requency	R ²	Correlation coefficient	p-value
All ears			
1 kHz	0.198	0.445	<0.001
2 kHz	0.445	0.667	<0.001
4 kHz	0.330	0.575	<0.001
2FA	0.499	0.707	<0.001
3FA	0.595	0.772	<0.001
6FA	0.504	0.710	<0.001
Downward type			
1 kHz	0.284	0.553	<0.001
2 kHz	0.549	0.741	<0.001
4 kHz	0.727	0.853	<0.001
Non-downward type			
1 kHz	0.267	0.516	<0.001
2 kHz	0.407	0.638	<0.001
4 kHz	0.308	0.555	<0.001

2FA, average of two frequencies which is measured by following formula: $([2\text{ kHz}+4\text{ kHz}]/2)$; 3FA, average of three frequencies which is measured by following formula: $([1\text{ kHz}+2\text{ kHz}+4\text{ kHz}]/3)$; 6FA, average of six frequencies which is measured by following formula: $\{(500\text{ Hz}+[2 \times 1\text{ kHz}]+[2 \times 2\text{ kHz}]+4\text{ kHz}]/6\}$

은 두 검사 간 상관관계 분석 결과 PTA의 4 kHz와 8 kHz 역치값이 ABR과 가장 연관성이 높다고 보고하였고, 1978년 Jerger와 Mauldin⁴⁾은 클릭음을 이용한 ABR 역치값을 PTA의 2, 4 kHz 역치값과 0.5, 1, 2 kHz 역치의 평균값, 1, 2, 4 kHz 역치의 평균값과 각각 비교 분석한 결과, $PTA=0.6 \times ABR\ threshold$ ($PTA=[1\text{ kHz}+2\text{ kHz}+4\text{ kHz}]/3$)의 공식으로 추정된다고 보고하였다. 또한 1984년 Bellman 등²⁾은 2 kHz와 4 kHz에서 상관관계가 가장 높다고 보고하였으며, 1987년 van der Drift 등⁷⁾은 PTA의 2 kHz와 4 kHz 주파수의 역치 평균값과 1, 2, 4 kHz 역치값의 평균이 ABR 검사와 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. 현대에도 이와 같은 연구가 국내에서도 많이 보고되고 있는데, 2010년 Lee 등⁹⁾은 소음성난청 환자를 대상으로 PTA와 ABR의 상관관계 분석을 시행하였으며, PTA상 1, 2, 3 kHz 역치의 평균값이 0.848로 ABR과 가장 상관관계가 높았고, 2, 3, 4 kHz의 평균값이 ABR과 평균 3.2 dB의 차이로 가장 작은 차이를 나타낸다고 보고하였고, 2012년 Seo 등⁹⁾은 PTA의 4 kHz 역치값이 상관계수 1.026으로 ABR과 가장 상관관계가 높으며, 3 kHz와 4 kHz의 평균 역치가 상관계수 0.995로 평균값 중에 가장 연관성이 높다고 보고하였으며, 중다회귀분석을 통해 계산한 주파수별 상대적 기여도 결과, $ABR\ threshold=11.79+(0.17 \times 1\text{ kHz})+(0.26 \times 3\text{ kHz})+(0.23 \times 4\text{ kHz})$ 으로 역치를 추정할 수 있을 것이라는 추정 방정식까지 제시하였다. 이러한 검사

간 역치를 추정하는 방정식은 2008년 Chien 등¹⁰⁾의 연구에서도 제시되었는데, 해당 연구에서는 SRT와의 상관도까지 분석하여, PTA와 ABR 역치 사이의 상관계수는 2-4 kHz ($r=0.690$)에서 가장 높았고, PTA를 예측하기 위한 다중 회귀 모델 결과 $PTA=3.274+0.774(SRT)+0.245(ABR)$ 로 추정식을 제시하였다. 그러나 이러한 기존 연구들에서 제시한 상관도나 추정 방정식은 두 검사 간 관계를 확인하는 데 많은 도움을 주고 있으나, 실제 임상에서 적용하기에는 빠른 계산이 쉽지 않아 활용이 어렵다는 아쉬움이 있었다.

본 연구 결과, 2 kHz 주파수에서의 PTA와 ABR 역치 차이가 가장 유의하게 작은 것으로 확인되었으며, 두 검사 간 평균 0.44 dB, 95% 신뢰구간이 -0.81 dB에서 1.68 dB로, PTA가 5 dB 단위로 기록되는 것을 고려하였을 때, 중등도 난청 환자의 청각장애 진단 시 2 kHz에서 두 검사 간 차이가 ± 5 dB 이내라면 검사를 적절히 수행했다고 추정해볼 수 있다. 청력 수준별로 분류한 세부그룹에서도 유사한 결과가 확인되었으나, 80 dB 이상의 고도 난청인 귀에서는 4 kHz에서 가장 차이가 작았으며, 모든 주파수에서 95% 신뢰구간의 범위가 확장되었는데, 이는 청력이 전농에 가까울수록 환자의 주관적 판단이 개입되는 PTA 검사의 정확도 및 신뢰도가 다소 떨어져서 발생하는 결과일 가능성을 염두해 볼 수 있다. 따라서 ABR 역치가 80 dB 이상인 난청 환자에서는 PTA 검사와 차이의 상한치를 5-10 dB 여유 있게 적용해서 확인해야 할 것으로 사료된다.

하향형 난청에서의 분석 결과, 동일한 결과가 주파수별로 더욱 두드러지게 나타났는데, 2 kHz에서의 차이는 유사하게 ± 5 dB 이내로 확인되었으나, 1 kHz에서는 ABR 역치가 10~20 dB 더 높고, 4 kHz에서는 -20~-10 dB 더 낮은 것으로 나타나, 이 결과를 바탕으로 하향형 난청인 귀에서는 2 kHz를 기준으로 주파수별로 더 큰 차이를 적용해서 두 검사를 비교해야 할 것으로 보인다.

본 연구 결과 하향형 난청과 그 외의 난청에서 각 단일 주파수별로는 두 검사 간 차이값의 변동이 나타났으나, 6분법이나 3분법 주파수 평균 역치에서는 유형별로 변동이 크지 않은 것으로 나타났다. 현재 국내 임상에서 청각장애 진단 시에는 보건복지부의 지침에 따라 6분법 평균 역치값을 활용하고 있는데, 본 결과를 토대로 실제 임상에서 빠른 판단을 요할 때는 성인 난청 환자에서 ABR 역치가 PTA의 6분법 평균 역치보다 최대 10 dB 이내로 높다면 검사를 적절히 시행했다고 판단할 수 있을 것이며, 이 범위를 벗어나 있을 경우 단일 주파수의 차이를 추가적으로 확인해보는 방법이 활용도가 좋을 것으로 보인다. 6분법 평균 역치 방법은 상관분석 결과에서도 상관계수 0.710으로 상관도가 높은 것으로 확인

되었고, 단일 주파수로는 2 kHz와 4 kHz가 상관성이 높은 것으로 확인되므로 이들을 선택하여 차이를 평가하는 것이 보다 적절한 것으로 사료된다.

본 연구는 각 주파수별로 PTA와 ABR 역치값 간 실제 차이를 확인하고, 하향형과 비하향형 난청에서 청력 정도별로 두 검사 간의 주파수별 차이의 95% 신뢰구간 범위를 계산함으로써 임상에서 활용할 수 있는 참고치를 제시하였다는 점에서, 회귀분석을 통해 두 검사 간 상관관계를 중점으로 분석한 이전 연구들과 차별점을 갖는다. 최근 2015년 국내 건강보험법 개정으로 인해 청각장애 환자에 대한 보청기 비용 지원이 확대되면서 청각장애 진단을 원하는 환자의 수가 늘어나고 있으며, 이에 따라 위난청 감별의 중요성도 더욱 강조되고 있는데, 이러한 경우 본 연구의 결과에서 나타난 각 청력 수준별, 주파수별 역치 차이를 참고하여 환자의 검사 신뢰도 확인에 활용할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에서 나타난 제한점은 다음과 같다. 첫째로 수평형이나 상향형과 같은 다른 유형의 난청에 대한 분석이 결여되었다는 점이다. 본 연구에서 선별한 하향형 난청은 세 번의 검사 모두 1 kHz부터 4 kHz 주파수 영역의 청력이 최소 5 dB 이상씩 감소하는 것으로 엄격한 기준을 두었음에도 불구하고, 분석에 적절한 수의 표본이 확보되었으나, 다른 유형들은 표본 수가 적어 분석에 적합하지 않았다. 최근 다양한 난청의 유형에서 상관도를 분석한 연구도 있었는데, 2017년 An 등⁵⁾은 난청의 유형과 주파수별로 PTA와 ABR의 상관관계를 분석하였고, 수평형에서 상관성이 가장 높았으며($r=0.49$), 하강형에서 상관성이 가장 낮다고 보고하였다($r=0.29$). 향후 보다 많은 표본에 대한 연구를 통해 다른 유형에서도 어느 정도의 역치값을 참고할 수 있는지에 대한 추가 연구가 필요하다. 두 번째로, 80 dB 이상의 고도 난청 및 50 dB 미만의 정도 난청 귀의 표본 수 부족이다. 본 연구에는 50-90 dB의 귀가 분석에 포함되었으나, 80 dB 이상이나 50 dB에 해당하는 귀는 표본 수가 부족하여 상대적으로 결과의 정확성이 낮을 가능성이 있다. 또한 50 dB 미만의 정도 난청의 경우 연구에 포함되지 않아, 전 청력 범위에 걸친 보다 광범위한 분석을 위해서는 더욱 다양한 표본 수집을 통한 연구가 필요할 것이다. 세 번째로 연구 대상의 평균 나이가 약 74세의 고령에 국한되었다는 점이다. 본 연구는 청각장애 진단을 시행한 환자를 대상으로 시행하여 젊은 연령의 환자는 거의 포함되지 않았는데, 청신경의 기능을 평가하는 ABR 검사의 특성상 청신경의 기능이 비교적 유지된 젊은 연령에서 다른 원인의 청력 저하로 인한 경우에도 유사한 결과가 나타날 지는 불명확하며, 후속 연구를 통한 결과 비교가 필요하다. 추가적으로 최근 이명이 ABR 결과에 변화를 나타낸다는 몇몇 연구들이

존재하는데, 2015년 Park 등¹¹⁾은 정상 청력인 이명 환자에서 ABR을 시행하여 I, III, V 파의 진폭 변화와 잠복기 지연을 관찰하였고, 2017년 Kang 등¹²⁾은 편측 이명 환자들을 대상으로 건측과 편측의 ABR 결과를 비교하여 이명이 있는 귀의 방향에 따라 병태생리가 다를 수 있으며, I, III, V 파의 진폭과 잠복기 지연 정도가 다르다는 것을 보고했다. 따라서 PTA상 같은 청력을 가진 환자라도 이명의 정도와 방향을 다르게 호소하는 경우가 있으므로 이명이 고려되었을 때 두 검사 간 차이에도 영향을 미칠지 추가적인 연구가 필요하다.

결론적으로, 50 dB 이상 90 dB 이하의 난청 환자에서 ABR과 PTA의 실제 역치 차이는, 모두 2 kHz에서 95%의 환자가 ± 5 dB 이내의 차이로 검사 간 차이가 가장 작았다. 1 kHz는 ABR 역치가 최대 10 dB, 4 kHz는 최대 -10 dB 이내였다. 하향형 난청은 ABR이 1 kHz에서 20 dB 이내, 4 kHz에서 -20 dB 이내라면 적절한 검사로 나타났다. 임상에서 많이 사용하는 PTA의 6분법 평균 역치는 ABR과 비교적 상관도가 높으면서 난청 유형(하향형 또는 비하향형) 간 역치 차이 변화도 적은 것으로 나타났으며 95% 환자에서 ABR의 역치가 10 dB 이내로 더 높은 것으로 확인되었다.

Acknowledgments

None

Author Contribution

Conceptualization: all authors. Data curation: Taehun Lim, Joo Hyung Oh, Pona Park. Formal analysis: Taehun Lim, Pona Park, Jong Yang Kim. Funding acquisition: Ju Eun Cho, Jong Yang Kim. Investigation: Taehun Lim, Joo Hyung Oh. Methodology: Joon Bum Joo, Jong Yang Kim. Project administration: Joon Bum Joo, Jong Yang Kim. Resources: Taehun Lim, Joon Bum Joo. Software: Taehun Lim, Pona Park. Supervision: Jong Yang Kim. Validation: Ju Eun Cho, Jong Yang Kim. Visualization: Taehun Lim. Writing—original draft: Taehun Lim. Writing—review & editing: Taehun Lim, Ju Eun Cho.

ORCID

Taehun Lim <https://orcid.org/0000-0003-4540-0262>

Jong Yang Kim <https://orcid.org/0000-0001-6067-6182>

REFERENCES

- 1) Gorga MP, Worthington DW, Reiland JK, Beauchaine KA, Goldgar DE. Some comparisons between auditory brain stem response thresholds, latencies, and the pure-tone audiogram. *Ear Hear* 1985;6(2):105-12.
- 2) Bellman S, Barnard S, Beagley HA. A nine-year review of 841 children tested by transtympanic electrocochleography. *J Laryngol Otol* 1984;98(1):1-9.
- 3) Hyde ML. The effect of cochlear lesions on the ABR. In: Jacobson JT, editor. *The Auditory Brainstem Response*. Boston: College Hill Press;1985. p.134-46.
- 4) Jerger J, Mauldin L. Prediction of sensorineural hearing level from the brain stem evoked response. *Arch Otolaryngol* 1978;104(8):456-61.

- 5) An YH, Yoon JH, Oh HS, Lee ES, Kim DH, Yoon JE, et al. Comparison of correlation between the pure tone audiometry, the auditory brainstem response and the auditory steady-state response for the evaluation of hearing disability in adults. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2017;28(2):192-8.
- 6) Coats AC, Martin JL. Human auditory nerve action potentials and brain stem evoked responses: Effects of audiogram shape and lesion location. *Arch Otolaryngol* 1977;103(10):605-22.
- 7) van der Drift JF, Brocaar MP, van Zanten GA. The relation between the pure-tone audiogram and the click auditory brainstem response threshold in cochlear hearing loss. *Audiology* 1987;26(1):1-10.
- 8) Lee JS, Kim BG, Park IS, Kim YB, Jang TW, Oh SY. Comparison of pure-tone thresholds and click-evoked auditory brain stem response thresholds in noise-induced hearing loss. *Korean J Audiol* 2010; 14(2):110-4.
- 9) Seo JH, Jeon EJ, Park YS, Kim JE, Kim DH, Nam IC, et al. Correlation of threshold of click-evoked auditory brainstem response with pure-tone threshold average in various formulas. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2012;55(12):764-70.
- 10) Chien CH, Tu TY, Shiao AS, Chien SF, Wang YF, Li AC, et al. Prediction of the pure-tone average from the speech reception and auditory brainstem response thresholds in a geriatric population. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2008;70(6):366-72.
- 11) Park WK, Lee YM, Heo KW, Kim JR. Auditory brainstem response in normal hearing patients with tinnitus. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 2015;26(2):202-7.
- 12) Kang MS, Choi JE, Lee MY, Jung JY. Interaural comparison of auditory brainstem response in unilateral tinnitus patients. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2018;61(3):127-32.