

뇌간유발반응청력검사와 순음청력검사의 역치차에 관한 고찰

울산대학교 의과대학 서울중앙병원, 이비인후과학교실
유 화 경 · 이 광 선 · 추 광 철

=Abstract=

The Comparison between Auditory Brainstem Response Thresholds and Pure Tone Audiogram

Hwa Kyung Yu, M.D., Kwang Sun Lee, M.D., Kwang Chol Chu, M.D.

Department of Otolaryngology, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center

The auditory brainstem responses (ABR) are thought to be the far field refraction of electrical events originating from auditory pathway through the brainstem. The ABR has been used clinically in the identification and diagnosis of hearing loss. ABR threshold has been used to estimate the magnitude of hearing loss.

Thresholds of ABR and pure tone behavioral audiogram (PTA) were compared in normal persons and in patients with sensorineural hearing loss. Click-evoked ABR thresholds appeared to be related most closely to the audiometric thresholds at 2 kHz, with relatively poor agreement at 8 kHz. This conclusion is based upon the observation that this comparison resulted in the smallest variance and the highest correlation.

Key ward; Auditory brainstem response, Pure tone audiogram.

I. 서 론

청성뇌간유발반응(auditory brainstem evoked response: ABR)은 와우에서 뇌간까지의 청신경전달로에서 음자극 후 2~15 msec에 걸쳐 발생하는 말초 청신경의 활동전위(action potential)를 원위기록(far-field recording)한 것이다.

1967년 Sohmer와 Feinmesser에 의해 처음으로 청신경전달로의 활동전위가 관찰되었고¹, 1971년 Jew-

ett와 Williston에 의해 청신경전달로 활동전위의 특성이 체계적으로 기술되고, 청력검사에 그 유용 가능성이 발표된 이래^{2,3} 많은 기초적 임상적 연구가 이루어져 왔으며, 음자극에 따른 청신경계의 미세한 전기적 반응을 컴퓨터에 의한 평균수법(averaging technique)으로 기록할 수 있게 됨으로써 뇌간유발반응청력검사(brainstem evoked response audiometry: BERA)가 가능하게 되었다.

최근 이과 분야에서 뇌간유발반응청력검사, 전기

와우청력검사(electrocochleography), middle latency response, slow cortical response 등 전기생리학적 검사의 역할이 점점 증대되고 있는데 이 검사들은 영·유아나 행위청력검사(behavioral audiometry)가 불가능한 대상에서 청신경계의 통합성(integrity)을 평가하는데 주안점을 두고 발전되어 왔다. 특히 뇌간유발반응청력검사는 피검자의 협조없이 비수술적 방법으로 위험부담없이 재생활 수 있어 임상적으로 가장 활발히 이용되고 있다⁴.

피검자의 청각상태를 파악하고 청각역치를 구하기 위해 일반적으로 사용되는 순음청력검사는 검사의 시행에 있어 피검자의 협조를 필요로 하는 주관적 검사법으로서 영·유아나 협조가 불가능한 대상의 경우 검사가 곤란한 단점이 있다. 반면에 뇌간유발반응청력검사는 타각적 검사법으로서 피검자의 의식상태, 자극음에 대한 주의 집중 여부 및 진정제, 마취제 등에 거의 영향을 받지 않으므로 영·유아, 정신박약자, 비협조적 또는 난청사칭(malingering)환자, 무의식 환자에서도 그 청각상태를 파악하고 이 신경학적(otoneurological)질환을 진단하는데 객관적 정보를 얻을 수 있다.

그러나 뇌간유발반응청력검사는 피검자의 변수, 자극음의 특성 및 기록조건 등 제반 인자에 의하여 검사의 결과가 영향을 받을 수 있으므로 타 검사실의 방법으로 얻어진 정상범위를 그대로 적용할 수 없으며, 자극음의 특성 및 기록상의 변수 등의 검사 매개변수도 각 검사실의 조건에 맞게 관리하지 않으면 검사결과 판독상의 오류가 가능하다.

청각역치를 구하는 방법으로서 순음청력검사와 뇌간유발반응청력검사가 이용되고 있는데 이 두 검사에서 역치를 결정하는 방법에는 기본적인 차이가 있다. 첫째 순음청력검사의 경우 음을 전달하는 외이도에서 음을 지각하는 대뇌피질까지의 전 청기계통(auditory system)이 관여하는데 반해 뇌간유발반응청력검사는 와우에서 뇌간까지의 청신경 전달로에서 발생하는 유발전위(evoked potential)를 측정하는 것으로서 말초 청신경 전달로만을 평가하고 뇌간 상부의 청신경 전달로는 관여하지 않는다. 둘째, 양 검사에서 사용되는 자극음에도 차이가 있는데 순음청력 검사에서는 각 주파수에 따른 순음(pure tone; duration > 0.3 msec)이 사용되고, 뇌간유발반응청력검사

에서는 일반적으로 광역 주파수대의 크릭(broad-band click; duration = 0.1 msec)이 사용된다. 또한 뇌간유발반응청력검사는 그 파형을 판독하는 조건에 따라 차이가 있을 수 있어 피검자가 감각하여 표시하는 순음청력검사 역치와는 차이가 있을 수 있다.

이에 저자는 순음청력검사와 뇌간유발반응청력검사를 모두 시행한 정상 청력인 및 감각신경성 난청인을 대상으로 하여 양 검사법의 청각역치 사이의 상관관계를 분석하고 영·유아등 협조가 불가능한 피검자의 청각상태를 평가하는데 기초자료를 제공하고자 본 연구를 시행하였다.

연구 방법

1) 연구대상

귀질환의 병력이 없고 정상 고막조건을 보이며 순음청력검사상 0.5, 1, 2kHz의 순음평균역치가 20dB HL(hearing level)이내인 정상 청력 27명과, 20dB HL이상인 감각신경성 난청 25명을 대상으로 뇌간유발반응청력검사를 시행하였다.

순음청력검사상 기도 골도 청력차가 10dB 이상인 환자는 대상에서 제외하였고, 청력결손의 정도나 청력상(auditory configuration)에 따른 고려는 하지 않았으며, 뇌간유발반응청력검사상 분명하게 그 파형을 관찰할 수 있었던 경우만 대상으로 하였다.

2) 측정기기

순음청력검사는 Nicolet사의 Aurora청력계기를, 뇌간유발반응청력검사는 Nicolet사의 electrodiagnostic system인 Pathfinder MEGA를 사용하였다. 헤드폰은 telephonics TDH-50P를, 전극(electrode)은 standard EEG silver electrode를 사용하였다.

3) 측정방법

피검자를 양와위로 눕히고 활성전극(active electrode)을 두정부에, 기준전극(reference electrode)을 양측 유양돌기부에, 접지전극(ground electrode)을 전두에 부착하고, 자극음으로 100usec에 의해 생성된 희박상 click (rarefaction raw click)을 초 당 11.1회의 반복율(repetition rate)로 주었고, 총 자극음의 회수는 2,000회였으며 증폭기의 bandpath fil-

ter는 150Hz~1,500Hz, 전극의 저항은 5kOhm 이하로 하여 동측보다 40dB SPL(sound pressure level)이 낮은 대측의 차폐음의 조건하에 편측 자극(monoaural stimulation)하였다.

140dB SPL부터 20dB SPL 간격으로 자극음의 강도(intensity)를 낮추어 가며 각 파형을 관찰하였으며, 파형이 관찰되지 않으면 10dB SPL 간격으로 자극음의 강도를 증가시켜 제 V파가 분명하게 관찰되는 가장 낮은 강도를 뇌간유발반응청력검사 역치로 하였다(Fig 1).

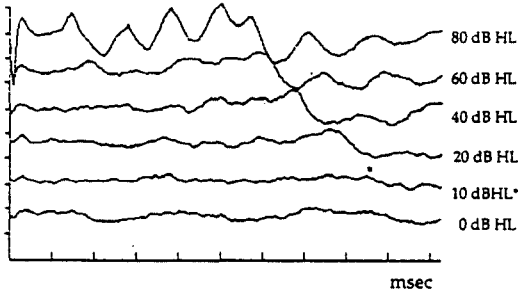


Fig. 1. Determination of ABR threshold. The threshold level was defined as the lowest stimulus level with a wave V in the response. The ABR threshold is 10dB HL*.

본 검사에서는 click의 강도를 정상 청력군의 click 탐지역치(behavioral threshold for the click)를 기준으로 표기하였다*. 본 검사실에서 정상 청력귀의 click 탐지역치는 40dB SPL로서 0dB HL로 하였다(40dB SPL=0dB HL).

이와같이 실시하여 얻은 결과는 평균(mean)±표준오차(S.E) 또는 표준편차(S.D)로 표시하였고 얻은 결과의 통계학적인 차이는 Student t-test로 판정하였다.

결 과

정상 청력 27귀에서 뇌간유발반응청력검사 역치는 10~30dB HL 범위로 평균 16.7dB HL, 표준오차 1.1dB HL이었다. 2kHz에서 뇌간유발반응청력검사와 순음청력검사의 역치를 비교하였는데 양 검사

의 역치가 일치하는 것은 1귀, 3.7%에 불과하고, 순음청력검사 역치가 높은 경우는 없었으며, 26귀 96.3%에서 뇌간유발반응청력검사 역치가 순음청력검사 역치보다 높게 나왔다(Table 1). 2kHz에서 양 검사의 역치 차이는 0~15dB HL 범위로 평균 10.0±4.1dB HL이었다(Table 2).

Table 1. Correlation between the ABR and PTA threshold of 2kHz in normal hearing ears.

		n=ears			
ABR threshold(dB HL)		10	20	30	40
PTA threshold(dB HL)					
0		5	2		
5		4	7		
10		1	7		
15			2	1	
20					

ABR : auditory brainstem response
PTA : pure tone audiometry

Table 2. Difference between the ABR and PTA threshold of 2kHz in normal hearing ears.

Range	Mean	S. D.	S. E.
0~15	10.0	4.1	0.8

S.D. : standard deviation
S.E. : standard error
p=0.001

감각신경성 난청귀를 대상으로 주파수 0.5, 1, 2, 4, 8kHz에서 최소 가청역치를 구하고 뇌간유발반응청력검사 역치와 비교하였다. 순음청력검사와 뇌간유발반응청력검사 역치의 상관관계는 2kHz에서 가장 높았고(r=0.79, p=0.0001) 1kHz(r=0.73, p=0.0001) 및 4kHz(r=0.60, p=0.0014)에서도 비교적 높은 상관관계를 보여주었으나, 0.5kHz(r=0.42, p=0.0328) 및 8kHz(r=0.37, p=0.0676)에서는 유의적인 상관관계가 없었다(Table 3). 또한 1, 2, 4kHz에서 역치의 산술평균과도 높은 상관관계를 보여주었다(r=0.80, p=0.0001)(Table 4).

뇌간유발반응청력검사와 각 주파수별 순음청력검사 역치간 차이의 편차는 2kHz에서 가장 낮은 것

로 조사되었다(Table 5).

Table 3. Statistical description and correlational analysis of the ABR and PTA threshold in sensorineural hearing loss ears.

n=25

Threshold	Range	Mean	S.D.	S.E.	C.C.	p value
ABR	30~80	59.6	14.3	2.9		
PTA0.5kHz	5~60	32.8	15.2	3.1	0.42	0.0328
PTA1kHz	10~70	36.8	18.1	3.69	0.73	0.001
PTA2kHz	10~65	41.4	15.1	3.08	0.79	0.001
PTA4kHz	30~85	50.6	15.4	3.14	0.64	0.001
PTA8kHz	20~105	62.0	19.5	3.95	0.48	0.0676

C.C.: correlational coefficient

Table 4. Statistical description and correlational analysis of the ABR and pure tone average in sensorineural hearing loss ears.

n = 25

Threshold	Range	Mean	S.D.	S.E.	C.C.	p value
PTA1	10~70	39.4	15.8	6.42	0.59	0.001
PTA2	25~70	46.4	13.9	6.85	0.75	0.0001
PTA4	18~63	42.8	14.4	5.62	0.80	0.0001
PTA8	21~74	47.9	14.5	6.63	0.76	0.0001

PTA1; pure tone average of 1, 2kHz.
 PTA2; pure tone average of 2, 4kHz.
 PTA3; pure tone average of 1, 2, 4kHz.
 PTA4; pure tone average of 1, 2, 4, 8kHz.

Table 5. Difference between the ABR and PTA threshold of 0.5, 1, 2, 4, and 8kHz in sensorineural hearing loss ears.

ABR-PTA	Mean	S.D.	S.E.	p value
PTA0.5kHz	26.2	16.7	3.37	0.001
PTA1kHz	22.8	12.7	2.5	0.001
PTA2kHz	18.2	9.7	1.9	0.001
PTA4kHz	9.0	13.5	2.7	0.001
PTA8kHz	-2.96	18.1	3.6	0.015

고 찰

청성뇌간유발전위는 음자극후 10msec 이내에 발

생하는 일련의 파형으로서 그 표기는 Jewett²가 주장하고 Hecox, Galambo⁶, Picton⁷등이 사용한 로마 숫자 표기가 일반적으로 사용된다. Rowe⁸와 Starr⁹들에 의하여 각 파형의 neural generator가 있음이 밝혀졌는데 제 I 파는 청신경, 제 II 파는 cochlear nucleus, 제 III 파는 superior olivary complex, 제 IV 파는 lateral lemniscus, 제 V 파는 inferior colliculus에서 발생하고 제 VI, VII 파는 발생기원을 알 수 없는 전기 현상이라 하였다. 이 중에서 제 V 파가 가장 현저하게 나타나며 변수인자에 의한 영향이 적어 임상에서 최소 청각역치 측정예 주로 이용되고 있어^{6,10,11}, 본 검사에서도 제 V 파가 나타나는 가장 낮은 음의 강도를 뇌간유발반응청력검사 역치로 하였다.

정상 청력인의 뇌간유발반응청력검사와 순음청력검사 역치의 차이는 저자의 결과에서는 2 kHz에서 0~15dB 범위로 평균 10.0dB이었다. 그러나 Cody¹² 등은 양 검사간 역치 차이가 거의 없다고 하였고, Davis¹³의 조사에서는 20~25dB이었으며 Tanaka¹⁴는 성인에서 4dB라고 하였다. 이와같이 보고자마다 역치차이가 다른 것은 피검자의 연령, 자극음의 종류 및 검사 주파수의 차이등 각 검사실의 조건이 달라 발생하는 것으로 생각된다.

한편 감각신경성 난청귀에서 양 검사간 역치 차이는 주파수에 따라 -3~26dB 범위내에 있었으며, 상관관계가 높은 주파수 1-2-4kHz에서는 뇌간유발반응청력검사 역치가 순음청력검사 역치보다 0~20dB, 평균 15dB 정도 높았다. 따라서 뇌간유발반응청력검사 역치에서 10~20dB 뺀 값이 1~4kHz 영역에서 순음청력검사 역치에 상응하리라 생각된다.

Click에 의한 뇌간유발반응청력검사 역치를 주파수대별 순음청력검사 역치와 비교하여 상관분석한 결과, 2kHz에서 두 역치간의 상관관계가 가장 높았으며(r=0.79, p=0.0001) 양 검사 역치차의 변이도(variance)도 2kHz에서 가장 적었다(S.D=9.7)(Fig. 2, 3). 그리고 1kHz (r=0.71, p=0.0001)와 4kHz (r=0.60, p=0.0014)에서도 비교적 높은 상관관계를 보였다. 그러나 0.5 kHz(r=0.42, p=0.0328)와 8kHz (r=0.37, p=0.0676)에서는 두 역치간에 상관관계가 낮았다. 또한 각 주파수별 역치 조합의 산술 평균과 뇌간유발반응청력검사 역치와의 비교에서는

1, 2, 4kHz의 산술평균에서 가장 높은 상관관계($r=0.80$, $p=0.0001$)를 보였다. 따라서 본 연구 조건하에서는 1~4kHz 영역의 청각상태를 평가하는데 뇌간유발반응청력검사를 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

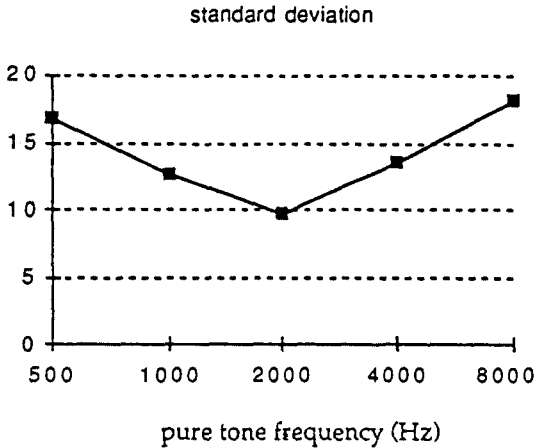


Fig. 2. Standard deviation of the difference between the ABR and PTA threshold as a function of the pure tone frequency.

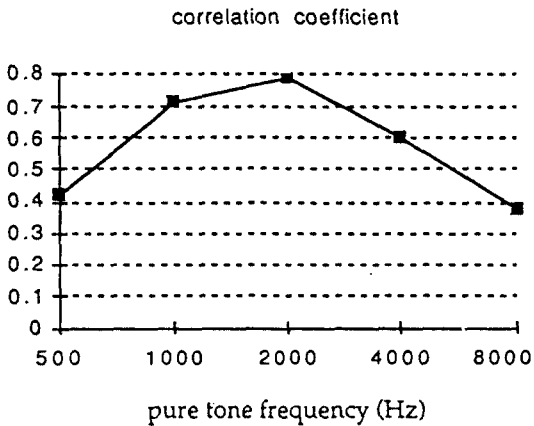


Fig. 3. The correlation coefficient for the ABR and PTA threshold as a function of the pure tone frequency.

Coats와 Martin¹⁵은 감각성 난청 53귀를 대상으로 한 조사에서 4-8kHz에서 상관관계가 가장 높다고 하였고($r=0.65$), Jerger와 Mauldin¹⁶은 1-2-4kHz에서 낮은 상관관계($r=0.48$)를 발표하여 본 연구결

과와는 상이하였으나 Bellman¹⁷ 등은 2-4kHz에서 가장 높은 상관관계($r=0.85$)를 보인다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다. 8kHz에서 양 검사간 상관관계가 가장 낮고($r=0.37$) 양 검사 역치차의 변이도가 가장 높아(S.D=17.8) 양 검사 사이에 상관관계가 가장 낮은 것으로 조사되었다. Gorga¹⁸등에 의하면 8kHz에서 상관관계가 가장 낮게 되는 현상은 자극음의 에너지가 2kHz에서보다 8kHz에서 약 30dB정도 낮기 때문인 것으로 설명하고 있는데, 고주파수에서 자극음의 amplitude가 낮게 되는 것은 헤드폰에 의해 부과된 shaping과 10usec click의 경우 8 kHz에서 spectral roll-off가 일어나기 때문인 것으로 분석하고 있다.

본 논문에서는 click에 의한 뇌간유발반응청력검사의 역치를 순음청력검사 역치와 비교, 분석하여, 뇌간유발반응청력검사 역치에서 피검자의 청각상태를 추정하는데 기본자료를 제공하고자 하였는데, 뇌간유발반응청력검사를 사용하여 피검자의 청각상태를 평가할 때는 다음과 같은 점을 고려하여야 한다. 즉 감각신경성 난청귀에서는 temporal integration이 다양하게 변할 수 있고¹⁹(대부분 감각신경성 난청귀에서 정상귀보다 낮은 temporal integration을 보인다.), 또한 본 검사에서는 자극음을 2,000회 반복하여 averaging하였는데, 여기에서 얻어진 역치가 가장 낮은 뇌간유발반응 역치를 의미하는 것은 아니며, 검사자에 따라 파형의 분석에 차이가 있을 수 있고, 뇌간 상부의 정보는 얻을 수 없으므로 뇌간유발반응청력검사 역치만으로 피검자의 청각역치를 추정하는 것은 한계가 있을 것으로 생각되며 타 검사법과 병행 실시하여 그 신뢰도를 높여야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 자극음으로 unfiltered raw click을 사용하였는데, click은 광역주파수대의 자극음으로 전체 와우를 동시에 활성화시켜 뇌간유발반응을 일으키는데 효과적인 것으로 알려져 있으나, 실제로는 와우의 기저회전을 일차적으로 활성화시킴으로써 주로 고주파수대의 청각에 대한 정보를 제공하는 것으로 보고되고 있다²⁰. 또한 광역주파수대의 click은 주파수 특이성이 없고, 뇌간유발반응청력검사는 1~4kHz부위 영역에서 일차적으로 민감하며, 저주파수의 난청시 탐지가 어렵다는 단점이 있어²¹, 저주파수

및 중간 주파수 영역의 청력결손을 보이는 피검자에서도 정상 청각 역치가 나올 수 있다. 뇌간유발반응청력검사로 주파수 특이성이 있는 정보를 얻으려는 시도로 일정 주파수대의 짧은 음인 logon, tone pip, 일정 주파수대의 긴 음인 tone burst 등을 사용하여 뇌간유발전위를 측정하기도 하는데, 신경자극의 synchronization을 위해 0.5msec이하의 지속시간을 갖는 짧은 음을 사용해야 하므로 저주파수의 음자극에 제약이 있고¹⁹ 활성화되는 neuron의 수가 적어 그 파형을 쉽게 관찰할 수 없는 단점이 있어 더 연구가 필요한 분야로 남아 있다.

결 론

뇌간유발반응청력검사로 피검자의 청각상태를 추정하고 이를 임상에 적용시키는데 기본자료를 얻기 위해서 정상청력 27귀, 감각신경성 난청 25귀를 대상으로 순음청력검사 역치와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

뇌간유발반응청력검사는 2kHz에서 순음청력검사 역치를 가장 잘 예측하며, 1~4kHz의 순음청력검사 역치를 비교적 잘 반영하는 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Sohmer, H, Feinmesser, M: Cochlear action potentials from the external ear in man. *Ann Otol Rhinol Lar* 1967; 76: 427-435.
2. Jewett, DL, Willistone, JS: Auditory evoked far fields averaged from the scalp of humans. *Brain* 1971; 94: 681-696.
3. Jewett, DL: Volume conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat. *Electrocephal Neurophysiol* 1970; 28: 609-618.
4. Shimizu, H: Editorial: Clinical use of auditory brainstem responses. *Issue and Hearing* 2, 1981; 3-4.
5. Jones, WH: Handbook of auditory evoked responses. Massachusetts. Vanderbilt university press 1992; 263-268.
6. Hecox, K, Galambos, R: Brainstem evoked auditory responses in human infants and adults, *Arch Otolaryngol* 1984; 93: 30-33.
7. Picton, JW, Hillyard, SA, Krausz, HI: Human auditory evoked potentials. I.: Evaluation of components. *Electroencephal Clin Neurophysiol* 1974; 36: 179-190.
8. Rowe, MJ: The brainstem auditory evoked responses in neurological disease. A review, *Ear and Hearing* 2, 1981; 41-51.
9. Starr, A, Achor, LJ: Auditory brainstem responses in neurological disease. *Arch Neurol* 1975; 32: 761-768.
10. Berlin, CI, Doble, RA: Electrophysiologic measure of audiometry via electrocochleography and brainstem evoked responses. In W.F. Rintleman, *Hearing assessment*. Baltimore University Park press, 1979; 425-458.
11. Kavanagh, KT, Beardsley, JV: Brainstem auditory evoked response. II. Clinical application in the assessment of patients with organic hearing loss. *Ann Otol Rhinol Lar* 1979; 88: Suppl 59, 11-21.
12. Cody, DTR, Klass, DW, Bickford, RG: Cortical audiometry: an objective method of evaluating auditory activity in awake and sleeping man. *Trans Amer Acad Ophthal Otolaryngol* 1967; 71: 81-91.
13. Davis, H: Slow cortical responses evoked by acoustic stimuli. Proceedings of conference on the Young Deaf Child held in Toronto, Canada, October 8-9, 1964. *Acta Otolaryngol Suppl(Stochholm)* 1965; 206: 128-134.
14. Kaga, K, Tanaka, Y: Auditory brainstem response and behavioral audiometry—developmental correlates. *Arch Otolaryngol* 1980; 106: 562-566.
15. Coats, AC, Martin, JL: Human auditory nerve action potentials and brainstem evoked responses: Effect of audiogram shape and lesion location. *Arch Otolaryngol* 1977; 103: 605

-622.

16. Jerger, J, Mauldin, L: Prediction of sensorineural hearing loss from the brainstem evoked responses. Arch Otolaryngol 1978; 104: 456-461.
17. Bellman, S, Barnard, S, Beagley, HA: A nine year review of 841 children tested by transtympanic electrocochleography. J Lar Otol 1984; 98: 1-9.
18. Gorga, MP, Warthington, JK: Some comparisons between auditory brainstem response threshold, latencies, and the pure tone audiogram. Ear and Hearing. Vol. 6 No. 2, 1985: 105-112.
19. Gibson WPR: Essentials of clinical electric responses audiometry. Churchill Livingstone. Edinburgh London and New York, 1978.
20. Yamada, G, Kodera, K, Yagi, T: Cochlear process affecting wave V latency of the auditory evoked brainstem response. Scandinavian Audiology, 8, 1979; 67-70.
21. Robert, K: Auditory for the physician. Williams & Wilkins Co. Baltimore, London, 1980; 202-203.