臨床耳鼻：第 28 卷　第 2 號　2017
J Clinical Otolaryngol 2017;28:192-198
□원　저□

성인의 청력장애 판정에서 순음청력검사 및 청성뇌간반응과 청성지속반응의 상관관계 비교

을지대학교 의과대학 을지병원 이비인후과학교실
안용휘 · 윤지향 · 오현식 · 이은섭 · 김동현 · 윤지은 · 심현준

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

Yong-Hwi An, MD, PhD, Ji Hyang Yoon, MD, Hyeon Sik Oh, MD, Eun Sub Lee, MD, Dong Hyun Kim, MD, Ji Eun Yoon, MD and Hyun Joon Shim, MD, PhD
Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Eulji Medical Center, Eulji University School of Medicine, Seoul, Korea

－ ABSTRACT －

Background and Objectives：To compare correlation between the pure tone audiometry (PTA), the auditory brainstem response (ABR) and the auditory steady-state response (ASSR) for the assessment of hearing disability in adults. **Subjects and Methods**：One hundred sixty adult patients who underwent ASSR for the disability evaluation of hearing from 2010 to 2016 were enrolled to this study. Correlations between PTA, ABR and ASSR thresholds were analyzed. **Results**：Both ABR and ABBR showed a positive linear correlation with the average hearing threshold of PTA, but the correlation between ASSR and PTA was significantly higher than that between ABR and ABR. The highest correlation between ASSR and PTA was observed at an average of 2 kHz; ABR and PTA at 4 kHz. The lowest correlation between ASSR and PTA was observed at an average of 4 kHz ; ABR and PTA at 0.5 kHz. **Conclusions**：Compared to ABR, ASSR showed greater correlation with PTA to assess the hearing disability in adults. ASSR can provide additional audiometric information for accurately predicting the hearing level. **(J Clinical Otolaryngol 2017;28:192-198)**

KEY WORDS：Pure tone audiometry · Auditory brainstem response · Auditory steady-state response · Auditory threshold.

서　론

우리나라의 청력장애의 장애정도평가는 순음청력검사(pure tone audiometry)의 기도 역치(air conduction threshold)를 기준으로 하며, 어음청력검사(speech audiometry), 임피던스검사(impedance audiometry), 이명도검사(tinnitogram), 청성뇌간반응검사(audiotory brainstem response, ABR), 청성지속반응검사(auditory steady-state response, ASSR) 등이 사용된다. 순음청력검사는

논문접수일 : 2017년 9월 13일 / 논문수정일 : 2017년 10월 27일 / 심사완료일 : 2017년 11월 21일
교신저자 : 안용휘, 01830 서울 노원구 한글로비석로 68 을지대학교 의과대학 을지병원 이비인후과학교실
전화 : (02) 970-8276 · 전송 : (02) 970-8275 · E-mail : an0072@hanmail.net

자극음이 들릴 시 피검사자가 능동적으로 반응해야 하는 주관적 검사이므로, ABR 역치를 확인하여 기도 역치의 신뢰도를 확보해야 하며 ASSR을 제출한 경우에는 ABR 검사를 대체할 수 있다(보건복지부고시 제2017-65호). 이 중에서 ASSR 검사는 변조된 순음에 의해 유발된 반응을 측정하는 방법으로 청력을 보다 객관적으로 예측할 수 있고, ABR에 비해 자극이 좀 더 주파수 특이적이며, 넓은 청력검사 역치 범위를 지니는 등의 장점이 있다.[1)]

국내에서도 지난 10여년 동안 유소아,[2-4)] 젊은 성인,[4,5)] 부분적 전농(partial deafness) 환자,[6)] 돌발성 감각신경성난청 난청 환자,[7)] 비돌발성 감각신경성난청 환자[7)] 등 다양한 대상군에서 ABR과 ASSR 간 또는 순음청력검사와 ASSR 간의 역치를 비교하는 연구가 진행되어왔다. ASSR은 순음청력검사의 주파수별 역치와 상관관계가 높고,[5)] 순음청력역치의 평균을 예측함에 있어 ABR과 ASSR 간에 유의한 차이는 없다고 보고되었다.[3,6)] 하지만, 청력이 정상에 가까울수록 역치의 정확도가 떨어지고,[4,5)] 청각신경병증 환자에서는 실제 청력 역치와 무관하게 70 dB 이상에서 반응이 나타나는 경우가 많아 청각신경병증을 고도 감각신경성난청으로 오진 가능[8,9)]하여 신생아와 영아에서 난청을 확진하기 위한 단독 검사로 사용하기 위한 객관적 근거가 부족한 상태이다.[10,18)]

이에 본 연구에서는 청력장애 판정을 위해 순음청력검사, ABR, ASSR 검사를 모두 시행 받은 감각신경성난청 성인 환자들에서 각 검사 별 역치의 상관성을 평가하고, 특히 순음청력역치를 예측하는데 ABR과 ASSR 중에 어느 검사가 더 정확한지 비교하고자 하였다.

대상 및 방법

2010년 1월부터 2016년 12월까지 난청을 주소로 청력장애 판정을 위해 내원한 환자들 중 순음청력검사, ABR, ASSR을 모두 시행 받은 160명(평균 나이 73.8±11.0세, 범위 25~95세 ; 남자 72명, 여자 88명)의 의무기록을 후향적으로 분석하였다. 청력장애의 진단은 원인 질환 등에 관하여 충분히 치료하여 장애가 고착되었을 때 진행하였으며, 그 기준 시기는 원인 질환 또는 부상 등의 발생 또는 수술 이후 6개월 이상 지속적으로 치료한 후로 하였다. 장애 판정에 해당되지 않은 난청, ABR과 ASSR 두 검사 중에 하나만 시행한 경우, 중이염 등의 외이 및 중이 질환으로 전음성 또는 혼합성 난청이 있어 수술 또는 처치 등의 의료적 조치로 호전될 가능성이 있는 경우, 검사의 신뢰도가 낮아 객관적인 결과를 확신할 수 없는 경우는 제외하였다. 순음청력검사 상 기도-골도 차가 6분법 평균에 의해 20데시벨 이내일 경우 또는 수술 후 난청이 고정되었을 것으로 판단되는 경우에는 대상에 포함하였다.

순음청력검사는 순음청력기기(Orbiter 922 ; GN Otometrics, Copenhagen, Denmark)와 헤드폰(TDH-39P ; Telephonics, New York, USA)을 이용하여 250, 500, 1 k, 2 k, 3 k, 4 k, 8 k Hz의 주파수를 검사하였다. 모든 주파수에서 5데시벨 간격으로, 10데시벨 하강-5데시벨 상승법에 의해 역치를 구하였고, 모든 환자에서 양측 귀를 대상으로 검사를 진행하였다. 순음청력 평균은 500(a), 1 k(b), 2 k(c), 4 k(d) Hz 역치의 합을 6분법 [(a+2b+2c+d)/6]에 의하여 소수점 이하는 버리고 구하였다. 청력장애의 장애정도평가는 순음청력검사의 기도순음역치를 기준으로 판정하였고, 2~7일의 반복검사 주기를 가지고 3회 시행한 청력검사결과 중 가장 좋은 검사 결과를 기준으로 하였다. 순음청력검사 상에서 인접한 두 주파수 간에 역치의 차이가 연속적으로 10데시벨 이하이면서 편평한 모양을 보이는 경우를 수평형(flat type), 인접한 두 주파수 간에 역치의 차이가 연속적으로 10데시벨 이상이면서 고주파수로 갈수록 역치가 증가하는 양상이면 하강형(down-sloping type), 상기 2가지 유형에 해당되지 않으면 기타형(other type)으로 분류하였다. 고주파수로 갈수록 역치가 감소하는 양상의 상승형(up-sloping type)은 대상자 수가 충분하지 않아 기타형에 포함하였다.

ABR 검사와 ASSR 검사는 Bio-logic Navigator-Pro Evoked Potential System(Natus Medical Inc., San Carlos, CA, USA)를 이용하였고, 피검자는 최대한 안정을 취하도록 한 후 침대에 누운 채 검사를 시행하였다. ABR 검사는 자극음으로 클릭(click)음을 사용하였고, 단위는 10데시벨 간격으로 역치를 확인하였다. ASSR 검사는 자극음을 500, 1 k, 2 k, 4 k Hz의 네 가지 carrier frequency로 100% 진폭변조(amplitude modulation), 10% 주파수 변조(frequency modulation)하였고 변조주파수(mod-

Table 1. Distribution of patients by hearing disability grade of Korea

Grade	Audiometric cut-off*	No. (subjects)	No. (ears)
2nd	≥90 dB in both ears	17	34
3th	≥80 dB in both ears	16	32
4th item 1	≥70 dB in both ears	45	90
4th item 2	≤50% in both ears†	7	14
5th	≥60 dB in both ears	58	116
6th	≥40 dB in one ear and ≥80 dB in the other	17	34
Total		160	320

* : Pure-tone averages of 6 values at 500, 1,000 (×2), 2,000 (×2), 4,000 Hz, † : Word recognition scores in speech audiometry

ulation frequency)는 각각 74, 81, 88, 95 Hz로 하였다. 음자극에 의해 유발된 뇌파의 성분 중 자극음의 변조주파수와 동일한 주파수를 가진 성분의 위상(phase)을 분석하였다. 자극음을 10 dB간격으로 역치를 구하였다. ASSR 역치의 평균도 6분법에 의하여 소수점 이하는 버리고 구하였다.

모든 통계적 처리는 SPSS 12.0판(SPSS Inc., Chicago, IL)을 이용하였고, 선형 회귀분석을 이용하여 순음청력검사, ABR, ASSR의 평균 청력 역치의 상관성을 확인하였다. 각각의 변수들은 평균±표준편차의 형식으로 기술되었고, 유의수준은 0.05 미만을 의미 있는 것으로 해석하였다. 이 연구는 본 병원의 기관윤리심의위원회의 심의를 통과하였다(IRB No. EMIRB 16-27).

결 과

160명의 난청 환자들을 청력장애 등급에 따라 분류하였을 때, 2급 17명, 3급 16명, 4급1호 45명, 4급2호 7명, 5급 58명, 6급 17명이었다(Table 1). 이를 양측 귀의 순음청력평균에 따라 분류하였을 때 40 dB 이상 60 dB 미만이 23귀, 60 dB 이상 70 dB 미만이 116귀, 70 dB 이상 80 dB 미만이 88귀, 80 dB 이상 90 dB 미만이 45귀, 90 dB 이상이 48귀였다(Table 2). 순음청력평균과 ABR 역치의 상관계수는 0.48($p<0.001$), 순음청력평균과 ASSR 평균의 상관계수는 0.56($p<0.001$), ABR 역치와 ASSR 평균의 상관계수는 0.73($p<0.001$)이었다(Fig. 1).

난청의 정도에 따라 분석하였을 때 순음청력평균과 ABR 역치 간과 순음청력평균과 ASSR 평균 간에는 유의미한 상관성이 관찰되지 않았고, ABR 역치와 ASSR 평균 간에는 난청이 심할수록 상관성이 증가하였다(Table 3). 순음청력검사 상 수평형에서 순음청력평균과 ABR 역치(r=0.49)과 ABR 역치와 ASSR 평균(r=0.68)의 상관성이 가장 높았고, 하강형에서 순음청력평균과 ASSR 평균의 상관성이 가장 높았으나(r=0.58), 순음청력평균과 ABR 역치의 상관성이 가장 낮았다(r=0.29)(Table 4).

Table 2. Distribution of 320 ears by hearing loss severity

Mean threshold*	No.
≥40 and <60 dB	23 (7.2%)
≥60 and <70 dB	116 (36.2%)
≥70 and <80 dB	88 (27.5%)
≥80 and <90 dB	45 (14.1%)
≥90 dB	48 (15.0%)

* : Pure-tone averages of 6 values at 500, 1,000 (×2), 2,000 (×2), 4,000 Hz

주파수 별로 분석하였을 때 순음청력검사와 ABR 검사의 상관성은 4 kHz에서 가장 높았고(r=0.48), 500 Hz에서 가장 낮았다(r=0.33). 순음청력검사와 ASSR 검사의 상관성은 2 kHz에서 가장 높았고(r=0.58), 4 kHz에서 가장 낮았다(r=0.44). ABR 검사와 ASSR 검사의 상관성은 2 kHz에서 가장 높았고(r=0.69), 500 Hz에서 가장 낮았다(r=0.55)(Table 5).

고 찰

청력장애 판정을 받은 160명에 대해 순음청력평균과 ABR 역치의 상관성(r=0.48)보다 순음청력평균과 ASSR 평균의 상관성(r=0.56)이 더 높은 것으로 조사되었다. ABR 검사가 클릭음을 이용하기 때문에 고주파인 2~4

kHz의 역치와는 상관성이 높지만 저주파의 역치와는 상관성이 낮은 점이 있고,[11,12] ASSR 검사는 진폭 혹은 주파수가 주기적으로 변조된 순음을 자극음으로 이용하기 때문에 주파수 별로 객관적인 청각자료를 제공함으로써 진단서의 작성 및 장애 평가에 유용한 도움이 될 수 있다. 한국인을 대상으로 한 연구들에서 순음청력평균과 ABR의 상관계수는 소아에서 0.92(평균나이 3.4세),[3] 부분적 전농 환자에서 0.83(평균나이 16.2세, 범위 3개월~88세),[6] 감각신경성난청 환자에서 0.33(평균나이 43.1세, 범위 7~81세)였고,[7] 순음청력평균과 ASSR의 상관계수는 0.96(평균나이 31.2세, 범위 5~74세),[5] 감각신경성난청 환자에서 0.58였으며,[7] ABR과 ASSR의 상관계수

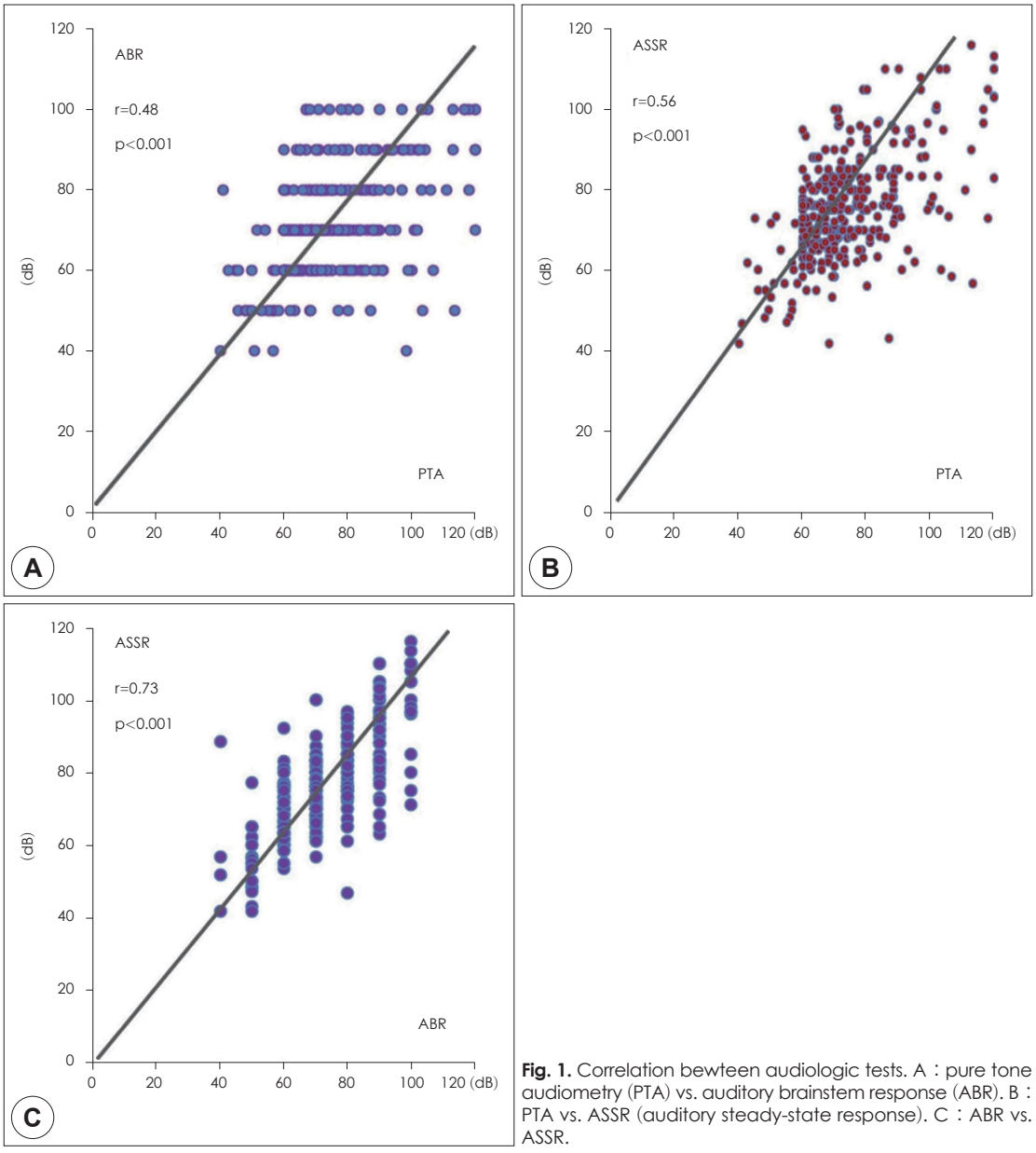

Fig. 1. Correlation bewteen audiologic tests. A : pure tone audiometry (PTA) vs. auditory brainstem response (ABR). B : PTA vs. ASSR (auditory steady-state response). C : ABR vs. ASSR.

Table 3. Relationships between thresholds of tests by hearing loss severity

Mean threshold	PTA vs. ABR	PTA vs. ASSR	ABR vs. ASSR
≥40 and <60 dB	n.s	n.s	r=0.49*
≥60 and <70 dB	n.s	n.s	r=0.48*
≥70 and <80 dB	n.s	n.s	r=0.56*
≥80 and <90 dB	n.s	n.s	r=0.75†
≥90 dB	n.s	n.s	r=0.83†

*: p<0.05, †: p<0.001. PTA: pure tone audiometry, ABR: auditory brainstem response, ASSR: auditory steady-state response, n.s: no significance (p>0.05)

Table 4. Relationships between thresholds of tests by audiogram shape

Audiogram shape	No. (Ears)	PTA vs. ABR	PTA vs. ASSR	ABR vs. ASSR
Flat	165	r=0.49*	r=0.52†	r=0.68*
Descending	72	r=0.29*	r=0.58†	r=0.51†
The others	83	r=0.45*	r=0.54†	r=0.62†
Total	320	r=0.48†	r=0.56†	r=0.73†

*: p<0.05, †: p<0.001. Flat includes all threshold differences ≤10 dB at two adjacent frequencies and descending includes any threshold differences ≥20 dB at two adjacent frequencies or ≥15 dB consecutively. PTA: pure tone audiometry, ABR: auditory brainstem response, ASSR: auditory steady-state response

Table 5. Relationships between thresholds of tests by each frequency

Frequency	PTA vs. ABR	PTA vs. ASSR	ABR vs. ASSR
0.5 kHz	r=0.33*	r=0.54†	r=0.55†
1 kHz	r=0.45†	r=0.56†	r=0.68†
2 kHz	r=0.43†	r=0.58*	r=0.69†
4 kHz	r=0.48†	r=0.44*	r=0.64†
Average	r=0.48†	r=0.56†	r=0.73†

*: p<0.05, †: p<0.001. PTA: pure tone audiometry, ABR: auditory brainstem response, ASSR: auditory steady-state response

는 소아에서 0.93,[3] 부분적 전농 환자에서 0.72였다.[6] 이에 비해 본 연구에서의 상관계수는 상대적으로 낮게 나타나므로 청력장애 판정 시 검사 결과를 해석하는데 각별한 주의가 필요하다. 기존의 보고들 중 주로 고도 또는 심고도 난청의 유소아에서는 상관성이 높게 나타났지만,[2-4] 본 연구에서는 평균 나이 73.8세의 고령인 점, 장애 판정 시 경제적 이익이 있으므로 순음청력평균이 더 높게 나올 수 있는 점, ABR 및 ASSR 검사를 10 dB 간격으로 시행한 점, 중등도 및 중고도 난청 환자의 비율이 40%가 넘는 점, 하강형 청력도를 보이는 22%의 환자 등의 이유로 상관성이 낮게 나왔을 것으로 판단된다. 이는 본 연구의 한계점이므로 향후 더 많은 대상자들에 대해 전향적인 연구를 시행하여 검사 결과를 비교하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

순음청력도의 모양에 따라 상관성을 분석하였을 때 ASSR 검사는 수평형, 하강형, 기타형 모두에서 비슷한 상관성을 보인 반면, ABR 검사는 하강형일 때 특히 낮은 상관성을 보였다. Lins 등은 주파수별 청력역치의 비교에 있어서는 ASSR 검사에서 500 Hz의 민감도가 낮다고 보고하였고 이는 저주파수 자극반응이 고주파수에 비해 역치 측정에 상대적으로 어려움을 유발할 수 있는 신경적 비동시성으로 인한 내부적인 흔들림(jitter) 때문인 것으로 생각하였다.[13] 또한 Aoyagi 등은 80 Hz의 높은 변조 주파수(modulation frequency, MF)를 사용하여 0.5, 1 k, 2 k, 4 k Hz에서 각각 0.73, 0.86, 0.88, 0.92의 상관계수를 보고하였으며,[14] Lins 등은 70~110 Hz의 변조주파수를 사용하여 0.72, 0.70, 0.76, 0.91의 상관계수를 보고하였다.[15] 본 연구에서는 주파수 별로

각각 0.54, 0.56,0.58, 0.44의 상관계수를 보여 2 kHz에서 상대적으로 높은 상관계수를 보였으나 500 Hz에서도 다른 주파수와 유사한 상관계수를 보임을 알 수 있었으며 이는 변조 주파수의 적절한 사용이 보다 순음청력검사의 결과에 근접한 결과에 접근할 수 있음을 시사한다.

ABR 검사와 ASSR 검사 간에는 전체적으로 높은 상관계수를 보여 순음청력검사와는 별도로 전기생리학적 검사 간에 일치도가 있음을 확인할 수 있었다. ASSR은 ABR에 비해 다음 몇 가지 장점이 있어 객관적 청력검사 도구로서 기대되는 바가 크다. ASSR에 이용되는 변조음은 ABR에 이용되는 클릭음 또은 톤버스트(toneburst) 음에 비해 주파수 특이성이 높고, 자동화된 역치 판독 알고리듬을 채택하고 있어 역치 판독에 객관성을 기할 수 있다. 또한 ASSR은 ABR보다 출력한계가 높아 ABR에서는 반응이 나타나 지 않아도 ASSR에서는 잔청을 확인할 수 있는 경우가 많다.[16,17] 다만 ASSR를 측정하는 데에는 ABR의 경우보다 더 많은 시간이 소요되었다. ASSR은 주파수 특이성을 가지는 청력검사방법으로 매우 유용하므로 특히 유소아나 협조가 되지 않는 성인에서의 정확한 청력역치의 측정과 난청정도의 판정에 많은 도움을 주며, 청력장애 판정에서도 ABR을 대체할 수 있는 객관적인 검사방법임이 본 연구를 통해서 확인되었다.

결 론

성인에서의 청력장애를 판정함에 있어 ABR 검사보다 ASSR 검사가 순음청력검사와 더 높은 상관관계가 있고, ASSR은 청력역치를 정확하게 예측하는데 부가적인 정보를 제공하는 검사이다. ABR 검사는 저주파수에서 낮은 상관관계를 보여, 하강형 청력도를 보이는 난청 환자의 장애 판정에서 해석에 주의가 필요하다. 향후 더 많은 대상자들에 대해 연구를 시행하여 좀 더 보편적인 검사 결과를 비교하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

중심 단어 : 순음청력검사 · 청성뇌간반응검사 · 청성지속반응검사 · 청각 역치.

REFERENCES

1) Gorga MP, Neely ST, Hoover BM, Dierking DM, Beauchaine KL, Manning C. *Determining the upper limits of stimulation for auditory steady-state response measurements. Ear Hear 2004;25(3):302-7.*
2) Lee SH. *Auditory steady state evoked responses. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 2003;46(8):621-6.*
3) Kim LS, Jung SW, Heo SD, Hwang CH. *Comparison of auditory brainstem response and auditory steady-state response thresholds in infants and young children. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 2004;47(4):304-10.*
4) Lee HS, Ahn JH, Chung JW, Yoon TH, Lee KS. *Clinical comparison of the auditory steady-state response with the click auditory brainstem response in infants. Clin Exp Otorhinolaryngol 2008;1(4):184-8.*
5) Lee HS, Ahn JH, Kim YJ, Lee KS, Yoon TH, Chung JW. *The correlation between pure tone audiometry and auditory steady state response according to the hearing level and frequency. Korean J Otolaryngol-Head Neck Surg 2006; 49(6):593-7.*
6) Yu MJ, Mun HA, Lee JJ, Kang YS, Hong SA, Lim HJ, *et al. Usefulness of objective hearing tests for screening patients with partial deafness. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2015;58(8):540-6.*
7) Choi YH, Cho HH, Eom TH, Cho YB. *The diagnostic value of auditory steady state response in patients of idiopathic sudden sensorineural hearing loss. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2015;58(4):243-8.*
8) Luts H, Wouters J. *Comparison of MASTER and AUDERA for measurement of auditory steady-state responses. Int J Audiol 2005;44(4):244-53.*
9) Rance G, Roper R, Symons L, Moody LJ, Poulis C, Dourlay M, *et al. Hearing threshold estimation in infants using auditory steady-state responses. J Am Acad Audiol 2005; 16(5):291-300.*
10) American Academy of Pediatrics, Joint Committee on Infant Hearing. *Year 2007 position statement: Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. Pediatrics 2007;120(4):898-921.*
11) Gorga MP, Johnson TA, Kaminski JR, Beauchaine KL, Garner CA, Neely ST. *Using a combination of click- and tone burst-evoked auditory brain stem response measurements to estimate pure-tone thresholds. Ear Hear 2006;27(1):60-74.*
12) Park SK, Kim BJ, Hur DG, Lee KJ, Lee JH, Oh SH, *et al. The Validity of auditory steady-state response as frequency-specific threshold test in infant-toddlers. Korean J Audiol 2006;10(2):105-11.*
13) Lins OG, Picton TW. *Auditory steady-state responses to multiple simultaneous stimuli. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1995;96(5):420-32.*
14) Aoyagi M, Kiren T, Furuse H, Fuse T, Suzuki Y, Yokota M, *et al. Effects of aging on amplitude-modulation following response. Acta Otolaryngol Suppl 1994;511:15-22.*
15) Lins OG, Picton TW, Boucher BL, Durieux-Smith A, Champagne SC, Moran LM, *et al. Frequency-specific audiometry using steady-state responses. Ear Hear 1996;17 (2):81-96.*
16) Rance G, Dowell RC, Rickards FW, Beer DE, Clark GM.

Steady-state evoked potential and behavioral hearing thresholds in a group of children with absent click-evoked auditory brain stem response. Ear Hear 1998;19(1):48-61.

17) Vander Werff KR, Brown CJ, Gienapp BA, Schmidt Clay KM. *Comparison of auditory steady-state response and auditory brainstem response thresholds in children. J Am Acad Audiol 2002;13(5):227-35.*

18) Park WK, Lee YM, Heo KY, Kim JR. *Auditory brainstem response in normal hearing patients with tinnitus. J Clinical Otolaryngol 2015;26(2):202-7.*