

# 자극음의 음향적 특성과 청각 뇌간에서의 전기생리학적 반응의 상관성

## Correlation of acoustic features and electrophysiological outcomes of stimuli at the level of auditory brainstem

전현지, 한우재\*†

(Hyungi Chun and Woojae Han\*†)

한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과, \*한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소  
(Received August 27, 2015; revised September 28, 2015; accepted November 5, 2015)

**초 록:** 청각기관의 음조체계로 인해 사람들은 일반적으로 주파수 분포에 따라 소리를 듣는다. 그러나 어음인지 측면에서 어음의 음향적 특성이 사람의 뇌에서 어떻게 인식되는지는 여전히 명확하지 않다. 따라서 본 연구에서는 유사한 고주파수 음향적 특성을 갖는 두 개의 어음이 청각 뇌간에서 전기생리학적으로 어떻게 발현되는 지 확인하고자 하였다. 정상 청력을 지닌 20대 성인 33명이 실험에 참여하였다. 자극음으로 두 개의 한국어 단음절 /자/와 /차/, 4개의 주파수로 구성된 톤버스트음(500, 1000, 2000, 4000 Hz)을 사용하여 청성뇌간반응을 얻었다. 연구 결과, 단음절과 톤버스트음 모두 높은 재현성을 보였고, 파형 V는 모든 피검자에게서 잘 발현되었다. 피어슨 상관관계 분석 결과, 3671 ~ 5384 Hz 대역에서 에너지 분포를 갖는 /자/ 음절은 4000 Hz의 톤버스트음과 높은 상관관계를 나타냈다. 그러나 /차/ 음절은 1000 Hz와 2000 Hz의 톤버스트음과 높은 상관성을 보여, 3362~5412 Hz의 음향적 특성과 청각 뇌간에서 생리학적 반응은 일치하지 않았다. 이러한 결과를 바탕으로 사람의 어음인지과정을 면밀히 조사하기 위해 음향 청지각적 매핑 후속 연구가 필요하겠다.

**핵심용어:** 신경생리학, 어음인지, 어음유발전위, 청성뇌간반응

**ABSTRACT:** It is widely acknowledged that the human auditory system is organized tonotopically and people generally listen to sounds as a function of frequency distribution through the auditory system. However, it is still unclear how acoustic features of speech sounds are indicated to the human brain in terms of speech perception. Thus, the purpose of this study is to investigate whether two sounds with similar high-frequency characteristics in the acoustic analysis show similar results at the level of auditory brainstem. Thirty three young adults with normal hearing participated in the study. As stimuli, two Korean monosyllables (i.e., /ja/ and /cha/) and four frequencies of toneburst (i.e., 500, 1000, 2000, and 4000 Hz) were used to elicit the auditory brainstem response (ABR). Measures of monosyllable and toneburst were highly replicable and the wave V of waveform was detectable in all subjects. In the results of Pearson correlation analysis, the /ja/ syllable had a high correlation with 4000 Hz of toneburst which means that its acoustic characteristics (i.e., 3671~5384 Hz) showed the same results in the brainstem. However, the /cha/ syllable had a high correlation with 1000 and 2000 Hz of toneburst although it has acoustical distribution of 3362~5412 Hz. We concluded that there was disagreement between acoustic features and physiology outcomes at the auditory brainstem level. This finding suggests that an acoustical-perceptual mapping study is needed to scrutinize human speech perception.

**Keywords:** Neurophysiology, Speech perception, Speech evoked responses, Auditory brainstem response

**PACS numbers:** 43.71.Qr, 43.64.Ri

†Corresponding author: Woojae Han (woojaehan@hallym.ac.kr)  
Division of Speech Pathology and Audiology, Hallym University,  
1 Hallymdaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do 24252, Republic  
of Korea  
(Tel: 82-33-248-2216, Fax: 82-33-256-3420)

## I. 서론

사람의 청각기관은 달팽이관에서부터 음조체계(tonotopic organization)가 시작된다. 즉 외부로부터 입력된 청각 정보는 달팽이관 기저막의 말단 부분에서 저주파수의 에너지로, 첨단 부분에서 고주파수의 에너지로 분석된다. 기저막을 따라 가장 크고 민감하게 반응하는 최적주파수로 분리된 정보는 청신경을 거쳐 상위 단계인 중추청각기관에서도 음조체계를 이어간다.<sup>[1]</sup> 그러나 음조체계 초기 단계인 달팽이관 및 청신경 부근에서는 입력된 정보가 주파수별로 명확하게 구분되고 전달되나, 구심성 신경의 전달 경로가 복잡해지는 중추청신경계와 청각피질에서의 음조체계는 정확성이 다소 떨어진다.<sup>[1]</sup> 과거 동물 실험 결과, 청각 뇌간에서의 음조체계는 초기 청각 발달 단계부터 매우 정확한 주파수 분석 능력을 갖추므로 이후 발달 과정에서도 음조체계를 그대로 유지한다고 보고되었으나, 최근 사람을 대상으로 진행된 임상연구에서는 청각적 경험과 학습이 청각 뇌간에서 음조체계를 변화시킨다고 주장하고 있다.<sup>[2]</sup> 단순언어장애 혹은 자폐를 겪는 환자들의 청각 뇌간에서 재정립된 음조체계가 이러한 주장을 뒷받침해주며, 어음인지 측면에서 특정 언어를 사용하는 사람들에게서 음향적 특성이 청자의 뇌에서 어떻게 인식되는지 많은 연구자들의 궁금증을 불러일으키고 있다.

한편, 사건관련유발전위(event related potentials)는 특정 감각, 인지, 운동 영역과 관련된 사건의 직접적인 결과를 뇌 반응으로 측정한다.<sup>[3]</sup> 사건관련유발전위를 이용한 연구는 자기공명영상 및 양전자단층촬영과 같은 화상기법을 사용하는 실험들에 비해 가격이 저렴하고 인체에 직접적인 자극 없이 전극 부착만으로 반응을 얻어낼 수 있는 비침습적 특성이 큰 장점이다.<sup>[4]</sup> 사건관련유발전위의 여러 종류 중 하나인 청성유발전위(auditory evoked potentials)는 소리 자극을 통하여 청각 기관 및 뇌신경의 반응을 이끌어내며, 소리가 말초부터 중추청각기관에 이르는 동안 자극받은 뉴런들의 변화를 잠복기로 구분 짓는다. 청성유발전위 중 소리 자극 후 가장 초기에 나타나는 반응인 청성뇌간반응은 임상적으로 중추청각기관의 병변부위를 진단하는 신경학적 검사와 청력

역치 평가에 주로 적용되고 있다. 특히 결과의 높은 재현율과 검사의 용이성 때문에 유소아, 정신지체, 치매 등 주관적 청력검사를 수행하는데 협조가 어려운 환자나 위난청자(거짓으로 응답하는 환자)와 같이 객관적인 청력검사결과가 반드시 동반되어야 하는 경우에 신뢰성 있게 청각 정보를 얻을 수 있다.<sup>[5]</sup>

청성뇌간반응 검사시 임상에서 주로 사용되는 자극음은 클릭음과 톤버스트이다. 클릭음은 정밀한 동시성을 갖고 다수의 신경섬유를 자극할 수 있으며,<sup>[6]</sup> 음의 특성상 10000 Hz 정도의 넓은 자극 주파수 대역을 포함하기에 청성뇌간반응 검사에서 가장 선호되는 자극음이다. 클릭음을 이용한 청성뇌간반응역치는 2000~4000 Hz 대역의 순음청력역치와 높은 상관관계를 보이나,<sup>[7]</sup> 1000 Hz 이하 저주파수 대역의 순음청력역치와는 상관관계가 낮아 저주파수 대역에서 잔존 청력이 있는 난청인들의 주파수별 역치를 추정하기에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해, 주파수 특이성을 가진 톤버스트음을 사용하여 청성뇌간반응 검사를 수행할 수 있다.<sup>[8]</sup> 톤버스트음은 특정 반송 주파수로 인해 에너지를 집중시켜 주파수 특이성을 가지기 때문에 주파수별로 청력역치 측정할 수 있고 비교 가능하다. 그러나 톤버스트 중 저주파수음을 사용하여 측정할 시 지속시간이 길어지고 유발전위의 동시성이 저하되기 때문에 기록되는 파형이 명확하지 않아 역치 판정에 어려움이 따른다.<sup>[9]</sup>

클릭음과 톤버스트음은 간결하고 단순한 자극으로 구성되어 고강도 자극을 제시했을 때 청자의 반응을 명확히 분별할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 근본적으로 말소리, 음악, 환경음 등 우리가 일상생활에서 접할 수 있는 소리와는 큰 차이를 보인다. 첫째, 말소리는 복합적이고 역동적인 신호음으로 여러 자모음의 결합으로 다양한 의미를 내포하고 있다. 이에 반해, 클릭음을 이용한 청성뇌간반응 결과는 단순하고 청자의 소리 변별 혹은 이해 능력을 객관적으로 확인하기에는 큰 한계가 있기 때문에 사람의 언어인지적 측면에서 그 응용가치가 떨어진다. 따라서 최근 말소리를 이용하여 청신경계에 대한 연구에 관심이 집중되고 있으며 이는 추후 중추청각기관의 의미있는 객관적 검사 결과로 이어질 수 있다.<sup>[10]</sup> 둘째, 시간적인 요소와 스펙트럼의 특징이 풍부하다.

말소리는 지속시간과 상승시간이 길어서 청자가 이를 지각하는데 있어서 기본주파수와 포먼트 등을 고려해야 한다.<sup>[11]</sup> 결론적으로 여러 연구자들은 앞으로 추구해야 할 청성뇌간반응의 연구 방향으로써, 현재 사용되고 있는 단순한 자극음과는 차별화된 말소리를 활용한 뇌 반응 결과를 객관적으로 구현해야 한다고 주장한다.<sup>[12-14]</sup>

국외에서는 1980년 Greenberg<sup>[15]</sup>에 의해 처음으로 복합음을 사용하여 청성뇌간반응의 신뢰성 있는 결과를 도출했고 특유의 말소리정보로 모음의 포먼트를 분석하였다. 또한 Galbraith *et al.*<sup>[16]</sup>은 여러 가지 단어를 오디오 신호로 변환하여 알아듣기 쉬운 자극음으로 제작하여 청성뇌간의 반응을 도출했다. 이후 복합음을 이용한 청성뇌간반응에 대한 연구가 활발하게 진행되었으며, 아기 울음소리 등 비음성소리의 환경음을 이용한 연구도 발표되었다.<sup>[17]</sup> 이에 반해, 말소리를 이용한 청성뇌간반응의 국내 연구는 거의 전무한 상태이다. 특히 한국어의 고유한 특성(고조, 포먼트, 시작 시간, 길이 등)을 고려하고 이에 대한 객관적인 뇌 반응을 도출하여 임상적 검사도구로서의 활용도를 높일 필요가 있다. 이러한 연구들의 의미 있는 결과는 기존의 단순음만 이용한 청성뇌간반응 검사의 확장 뿐 아니라, 인공와우 대상자의 이식 전 선별검사와 이식 후 재할 효과 검증 등 현재의 주관적 어음검사 결과를 보완하여 보다 통합적으로 청자의 청각능력을 확인할 수 있겠다.

한국어 말소리를 활용한 청성뇌간반응의 초기 연구로써, 본 연구에서는 가장 유사한 고주파수 대역의 에너지를 갖고 있는 두 개의 한국어 단음절, /자/와 /차/를 사용하여 청각 뇌간에서 전기생리학적으로 어떻게 발현되는지 확인하고자 하였다. 유사한 고주파수의 어음은 감각신경성 난청인들에게 가장 분별하기 어려우며 주로 낮은 어음명료도를 보인다. 더불어, 본 연구에서는 넓은 주파수 대역의 에너지 분포를 가지는 클릭음 대신 주파수 특이성을 가진 톤버스트음을 이용한 청성뇌간반응 검사의 결과를 /자/와 /차/의 청성뇌간반응 검사 결과와 비교하고자 하였다. 이를 위해, 1) 단음절 /자/와 /차/에서의 청성뇌간반응 검사 결과의 재현성을 확인하였고, 2) 톤버

스트음을 이용한 청성뇌간반응 검사 결과와 /자/, /차/음을 이용한 청성뇌간반응 검사 결과의 주파수별 상관관계를 비교 분석하고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 2.1 연구 대상

정상 청력의 20대 성인 33명(남성 14명, 여성 19명)을 대상으로 실험을 진행하였다. 연구 대상자의 평균 연령은 23.4세(21 ~ 27세)였고 연령의 표준편차는 1.5였다. 모두 과거 이과적 병력이 없었으며, 중이 검사 결과 정상 기준에 속하였다. 연구 대상자의 순음 청력검사 결과는 기도 역치가 250 Hz에서 8000 Hz까지 25 dB HL 이내였고 기도-골도 역치 차이는 5 dB 이내로 모두 정상 청력 범주에 속하였다. 대상자들은 한국어를 모국어로 구사하였고, 오른손잡이였다. 검사 당시 음주나 약물 복용 여부를 질의응답으로 확인한 후, 실험을 시작하였다.

연구를 실시하기 이전에 모든 대상자들은 연구의 목적과 절차에 대한 설명을 충분히 듣고 이해한 후, 연구 참여에 대한 동의서에 서명하였다. 모든 연구 절차는 사전에 한림대학교 생명윤리위원회로부터 승인 받았다(#HIRB-2014-92).

### 2.2 자극음

실험을 위해 4개 주파수(500, 1000, 2000, 4000 Hz)의 톤버스트음과 두 개의 한국어 단음절 /자/와 /차/를 사용하였다. 톤버스트음은 검사 장비에 기본음으로 담겨있는 것을 사용하였고, 상승하강(rise/fall)값은 500, 1000, 2000, 4000 Hz에서 각각 초당 1.5, 2, 3, 4 주기였다. 단음절은 초성자음과 순음청력검사 결과의 주파수별 상관관계를 밝힌 기존 연구의 결과를 토대로 선택하였다. 즉, /자/는 3671 ~ 5338 Hz에서, /차/는 3362 ~ 5412 Hz 대역에서 에너지를 분포하며, 후설저모음인 /ㅏ/는 다른 모음들에 비하여 자음과 결합 시 주파수 변화가 작고 청력 역치 측정에 해당되는 주파수와의 상관관계가 낮으므로 본 연구의 자극음으로 선정되었다.<sup>[18]</sup> 선택된 단음절 /자/와 /차/는 남성성우의 목소리로 녹음된 한국표준 단음절어 표<sup>[19]</sup>의 CD 음원에서 직접 발췌하였다. 단음절표의

Table 1. Acoustic analysis of monosyllables /ja/ and /cha/ using Praat.

		/ja/	/cha/
Total syllable duration (s)		0.382	0.419
Voice onset time (s)		0.070	0.103
Consonant duration (s)		0.070	0.103
Vowel duration (s)		0.312	0.316
Fundamental frequency (Hz)		103.218	115.923
Formants	F1 (Hz)	865.983	867.492
	F2 (Hz)	1325.834	1407.283
	F3 (Hz)	2684.515	2662.738

목록 1에 해당하는 /자/음과 목록 4에 해당하는 /차/음은 검사장비의 음원길이 규정에 따라 500 ms 이내로 전체 길이를 고려하여 추출하였다. 그리고 음성 분석프로그램<sup>[20]</sup>을 사용하여 모노사운드로 변환하였고, 샘플링 주파수 대역은 48000 Hz로 조정하였다. 샘플링 비트는 16 bits, 평균 실효값은 일정하게 조절하여 최종 자극음의 음원을 제작하였다.

Table 1은 단음절 /자/와 /차/의 음향적 분석 결과를 요약하였다. 단음절의 총 음절 시간은 /자/음이 /차/음에 비해 0.037 s 짧았고, 성대진동 시작시간은 0.033 s, 모음 길이는 0.004 s 정도 짧았다. 기본주파수는 /자/음이 /차/음에 비해 약 12 Hz, 제2포먼트 주파수는 약 81 Hz 낮게 나타났다. 전반적으로 단음절 /자/는 /차/에 비해 음의 길이가 조금 짧은 양상을 보였고 주파수도 약간 낮은 특성을 보였으나, 두 자극음은 음향적으로 크게 상이하지 않았다.

### 2.3 연구 절차

청성뇌간반응을 얻기 위해 Bio-Logic Navigator Pro system (Bio-Logic Co., Willow Hill, PA, USA)을 이용하여 조용한 방에서 검사를 실시하였다. 전극은 2채널을 사용하였고 국제 10-20 시스템에 의거하여 활성전극은 유양돌기, 기준전극은 이마와 정수리 중간 부분에, 접지전극은 앞이마에 부착하였다. 저항 값은 5 kohm 이하로, 전극 간 저항 차이는 2 kohm 이하가 되는지 확인하였다. 자극 방법은 귓속형이어폰 (ER-3A, Etymotic Research, IL, USA)을 이용하여 언어 이해를 관장하는 좌 뇌(Wenike's area)와 우측 귀의 장점(right ear advantage)을 고려하여 우측 귀에 자극음을 제시하였다.

자극음 중 톤버스트음의 자극 속도는 21.7 ms으로 제시하였고 교대상을 사용하였다. 대역통과여과기는 100~3000 Hz로 1500 sweeps을 사용하였다.<sup>1)</sup> 단음절 /자/와 /차/는 검사장비의 커스터마이징 조건에 부합된 2.3 ms의 자극 속도를 제외하고는 톤버스트음과 모두 동일한 조건으로 자극 방법을 유지하며 검사를 실시하였다.

각 음원의 강도는 80 dB nHL<sup>2)</sup>의 고강도에서 20 dB nHL까지 10 dB nHL단위로 하강시켰다. 연구 대상자는 검사가 진행되는 동안 움직임없이 편안하게 누운 상태에서 수면을 취하도록 지시하였다. 검사-재검사 신뢰도 확인을 위해 1차 검사 완료 2주 후 동일한 대상자에게 동일한 방법과 절차를 이용하여 2차 검사(재검사)를 실시하였다.

### 2.4 자료 분석

톤버스트 500, 1000, 2000, 4000 Hz음을 사용한 선행 연구에서 80 dB nHL에서 청성뇌간반응 결과에서 파형 I 과 III은 관찰되지 않았기 때문에, 본 연구에서는 자료 분석 시 파형 V의 절대잠복기와 진폭만 추적하였다.<sup>3)</sup><sup>[21]</sup> 가장 높고 두드러지는 5번째의 positive peak을 파형 V로 찍고 청성뇌간반응의 소프트웨어 (Bio-logic<sup>®</sup> Auditory Evoked Potentials, Ver. 7.2.1)에서 표기된 절대잠복기와 진폭의 수치를 기록하였다. 파

1) 청성경과 뇌간에서 발생하는 전기신호를 제외한 불필요한 신호들을 배제하여 신호대잡음비를 향상시키기 위해 100-3000 Hz 대역의 통과여과기를 사용하며, 자극음의 평균가산횟수를 1000 sweeps 이상하여 시각적으로 명확한 기록 조건을 얻기 위한 조건임.<sup>[6]</sup>

2) decibel in normalizing hearing level으로 평균정상청력역치 수준을 뜻함.

3) 절대잠복기는 소리 자극 후 특정 청각기관에서 발견되는 데 걸리는 시간을 뜻하며, 진폭은 소리 자극에 대한 뉴런의 반응 크기임.

형 표기의 객관성을 유지하기 위해 두 명의 청각학 전공자가 검사와 재검사 결과를 각각 분석하였고 일치성을 찾아 최종 파형으로 결정하였다.

통계적 검증을 위해 SPSS 통계프로그램(Ver. 20.0, IBM Inc, Armonk NY, USA)을 이용하여 음원의 종류와 자극음의 강도에 따른 검사-재검사 절대잠복기와 진폭의 유의미한 차이를 확인하기 위해 반복측정 이원분산분석을 실시하였다. 또한, 톤버스트음을 이용한 청성뇌간반응과 /자/, /차/음을 이용한 청성뇌간반응의 절대잠복기의 주파수별 상관성을 확인하기 위해 피어슨 상관관계분석을 실시하였다.

### III. 연구 결과

#### 3.1 검사-재검사 신뢰도

##### 3.1.1 음원별

자극음의 6개의 종류에 따라 각각 평균 파형(grand average)을 분석한 결과, 파형 V의 절대잠복기는 톤버스트 500 Hz에서는 8.04 ms, 1000 Hz에서는 7.99 ms, 2000 Hz에서는 7.61 ms, 4000 Hz에서는 7.26 ms으로 나타났다. 또한 단음절 /자/에서는 7.91 ms, /차/는 7.88 ms으로 약 7ms 후반대로 나타났다(Fig. 1, Appendix 1). 즉, 톤버스트 500과 1000 Hz음은 2000과 4000 Hz 및

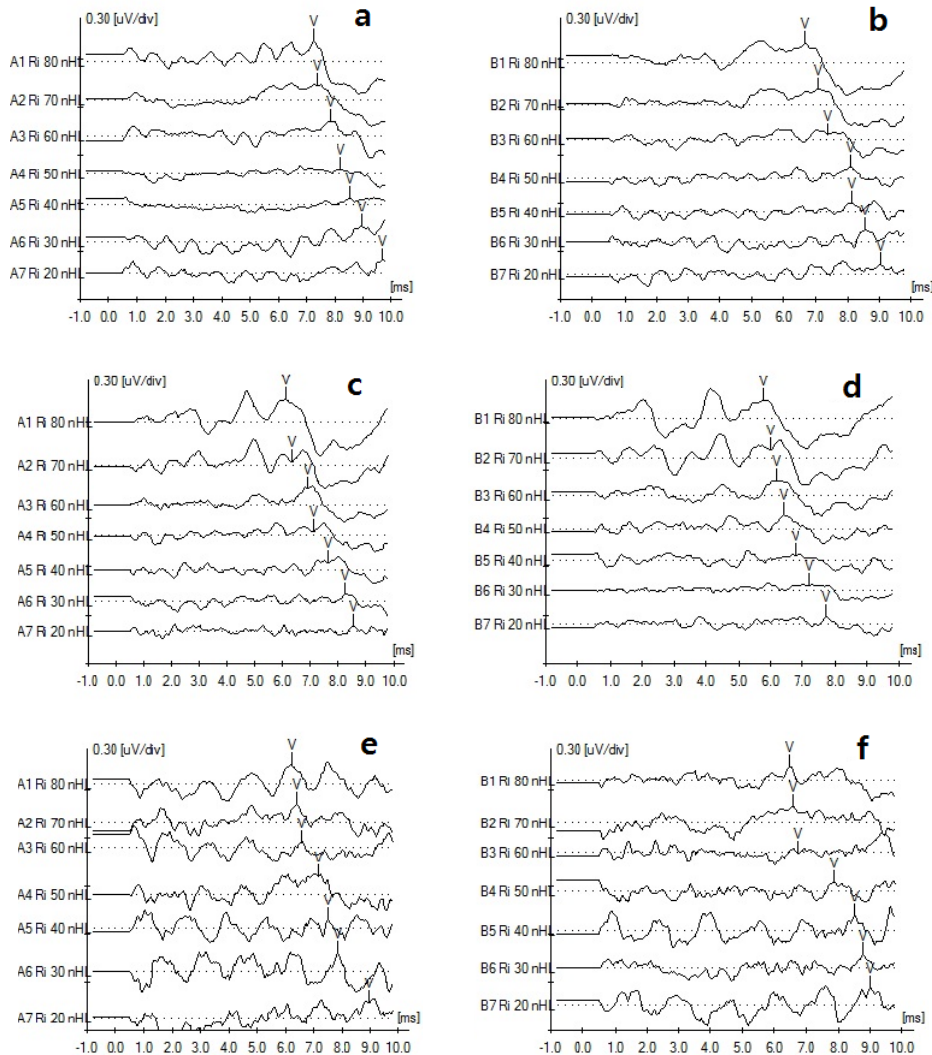


Fig. 1. Grand average waveform as a function of intensity; (a) 500-Hz toneburst, (b) 1000-Hz toneburst, (c) 2000-Hz toneburst, (d) 4000-Hz toneburst, (e) monosyllable /ja/, (f) monosyllable /cha/. See the Appendix 1 for exact numerical values of the grand average.

단음절 /자/와 /차/에 비해 파형 V의 절대잠복기가 길었다. 특히 다른 3개의 톤버스트 주파수와 비교하여 톤버스트 4000 Hz음에서 절대잠복기가 가장 짧았다. 반면, 단음절 /자/와 /차/는 톤버스트 500 및 1000 Hz의 음과 유사하게 파형 V의 절대잠복기가 나타났다. 통계 검증에서도 6가지의 자극 음원에 따라 파형 V의 절대잠복기는 유의하게 달랐다[F(5, 1344)=240.036,  $p=0.000$ ]. 사후분석 결과, 1000 Hz음보다는 2000 Hz음에서, 2000 Hz보다는 4000 Hz에서 보다 짧은 절대잠복기가 나타났다.

파형 V의 절대잠복기는 검사 평균은 7.76 ms, 재검사 평균은 7.81 ms으로 두 검사의 평균 차이는 0.05 ms로 매우 적었고, 통계 검증에서도 [F(1, 1344)=10.602,  $p=0.001$ ]으로 유의하여 검사-재검사 신뢰도가 높았음을 확인할 수 있었다. 더불어, 파형 V의 절대잠복기에서 검사-재검사와 음원의 특성 간 유의한 상호작용[F(5, 1344)=6.732,  $p=0.000$ ]은 Fig. 2에서 보여지듯이 톤버스트음이 저주파수에서 고주파수로 갈수록 검사와 재검사 모두 파형 V의 절대잠복기의 길이가 줄어들었다.

음원의 특성에 따른 진폭의 변화는 톤버스트 500 Hz음에서는 8.04 uV, 1,000 Hz음은 7.99 uV, 2,000 Hz음은 7.61 uV, 4000 Hz음은 7.26 uV, 단음절 /자/에서는 7.91 uV, /차/는 7.88 uV로 나타났다. 통계 분석 결과, [F(5, 1344)=2.822,  $p=0.015$ ]으로 유의하게 나타나 음원의 특성에 따라 진폭이 유의하게 달라짐을 확인하였다. 저주파수에서보다 고주파수에서 절대잠복기의 길이는 짧아지고 진폭도 작아지는 것을 확인할 수 있었다.<sup>[6]</sup>

파형 V의 진폭은 검사-재검사에서 검사 평균은 0.20 uV, 재검사 평균은 0.22 uV으로 두 검사의 평균은 0.02 uV 차이로 작았으나 검사-재검사 간 파형 V의 진폭에서는 [F(1, 1344)=0.668,  $p=0.414$ ]으로 유의하지 않았다. 검사-재검사와 음원의 특성 간 진폭은 유의한 상관관계를 보여 음원의 특성에 따라 진폭이 유의하게 달라짐을 확인하였다 [F(5, 1344)=2.822,  $p=0.015$ ]. 즉, 톤버스트의 저주파수음에서보다 고주파수음에서 진폭도 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.1.2 강도별

강도에 따른 평균 파형 분석 결과, 강도가 작아질수록 파형 V의 절대잠복기는 길어지고 진폭도 작아지는 양상을 보였다.<sup>[6]</sup> 이는 특히 톤버스트음이 저주파수에서 고주파수로 갈수록 더 두드러졌다. 반면

단음절 /자/의 파형 V의 절대잠복기는 톤버스트 주파수 중 1000 Hz와 0.11 ms의 차이만 보여 가장 비슷했으며, /차/는 2000 Hz와 0.05 ms의 차이로 가장 유사했다. 강도가 줄어들수록 대부분의 조건에서 진폭도 함께 줄어들었으나 /자/의 경우 30 dB nHL에서, /차/의 경우 30, 20 dB nHL에서 다시 커지는 양상을 보였다(Fig. 1).

강도에 따라 80 dB nHL에서는 6.42 ms, 70 dB nHL에서는 6.89 ms, 60 dB nHL에서는 7.34 ms, 50 dB nHL에서는 7.78 ms, 40 dB nHL에서는 8.25 ms, 30 dB nHL에서는 8.68 ms, 20 dB nHL에서는 9.12 ms으로 강도가 작아질수록 파형 V의 절대잠복기의 길이는 길어졌다. 통계분석 결과, 7가지의 강도에 따른 파형 V의 절

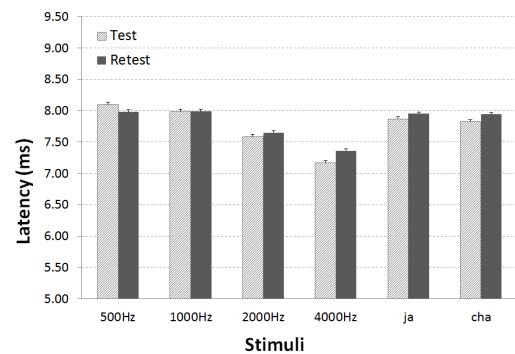


Fig. 2. Comparison of latency in test-retest as a function of stimuli.

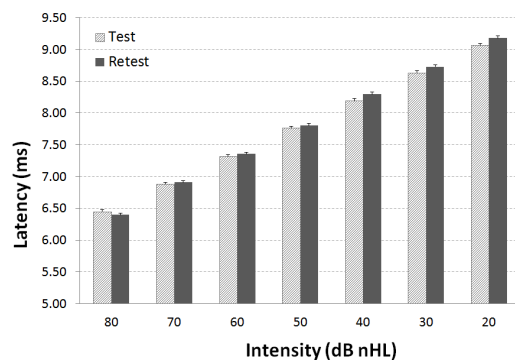


Fig. 3. Comparison of latency in test-retest as a function of intensity.

대잠복기는 유의미한 차이가 보였다[F(6, 1344) = 2222.82, p=0.000]. 사후분석 결과, 7가지의 강도에서 모두 유의하게 달랐고, 80 dB nHL에서 20 dB nHL로 갈수록 더 긴 절대잠복기를 나타내었다 (Fig. 3).

그러나 검사-재검사와 강도 간 상호작용은 유의미하지 않았다[F(6, 1344)=1.828, p=0.09]. 반면 강도와 음원의 특성 간 상호작용에서는 [F(30, 1344) = 1.739, p = 0.008]으로 유의했다. 같은 강도에서 톤버스트 500 Hz와 1000 Hz음, /자/와 1000 Hz음, /차/와 2,000 Hz음의 절대잠복기가 비슷한 양상을 보이는 것을 확인하였다.

진폭은 80 dB nHL에서 0.26 uV, 70 dB nHL에서 0.23 uV, 60 dB nHL에서 0.21 uV, 50 dB nHL에서 0.18 uV, 40 dB nHL에서 0.19 uV, 30 dB nHL에서 0.21 uV, 20 dB nHL에서 0.20 uV으로 강도에 따른 큰 변화는 없었다. 통계분석결과, 강도에 따른 진폭은 [F(6, 1344)=0.937, p = 0.467]으로 유의미하지 않았다. 즉, 강도에 따른 진폭은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 또한 검사-재검사와 강도 간 상호작용 역시 [F(6, 1344)=0.279, p = 0.947]으로 유의하지 않았다. 검사-재검사와 강도와 음원의 특성 간 삼원상호작용에서도 유의하지 않았다[F(30, 1344) = 0.473, p = 0.993].

주파수가 높아질수록 그리고 강도가 높아질수록 잠복기는 짧아지는 양상을 보였다. 음원의 특성 중 4000 Hz가 나머지 주파수에 비해 강도에 따른 잠복기가 가장 빨리 나타났다. 단음절/자/의 잠복기는 대체로 톤버스트 1000 Hz음의 잠복기와 비슷한 양상을 보였고, 고강도보다 저강도에서 더욱 유사하였다. 특히 20 dB nHL에서 0.05 ms로 가장 적은 차이를 보였고, 80 dB nHL에서 0.11 ms로 가장 큰 차이를 보였다. 반면 /차/의 잠복기는 톤버스트 2,000 Hz음의 잠복기와 비슷한 양상을 보였다. 특히 80 dB nHL에서 0.05 ms로 가장 적은 차이를 보였으며 50 dB nHL에서 0.43 ms로 가장 큰 차이를 보였다.

**3.2 단음절과 톤버스트 주파수의 상관관계**

단음절 /자/, /차/와 톤버스트의 500, 1000, 2000, 4000 Hz 간의 유의미한 상관성을 확인하고자 피어슨 상관분석을 실시하였다. 분석 결과, 단음절/자/, /차/는 톤버스트 4개의 주파수와 p < 0.01으로 유의미한

Table 2. Results of Pearson correlation analysis between monosyllables and toneburst.

Monosyllable	Toneburst	r	p
/ja/ 80 dB nHL	4000 Hz 30 dB nHL	-0.38*	0.03
	4000 Hz 20 dB nHL	-0.38*	0.03
/ja/ 70 dB nHL	500 Hz 20 dB nHL	0.38*	0.03
	4000 Hz 30 dB nHL	-0.49**	0.00
	4000 Hz 20 dB nHL	-0.41*	0.02
/ja/ 50 dB nHL	500 Hz 20 dB nHL	0.53**	0.00
/cha/ 80 dB nHL	2000 Hz 40 dB nHL	-0.40*	0.02
	1000 Hz 70 dB nHL	0.36*	0.04
/cha/ 50 dB nHL	2000 Hz 80 dB nHL	0.48**	0.00
	2000 Hz 70 dB nHL	0.41*	0.02
	2000 Hz 60 dB nHL	0.38*	0.03
/cha/ 40 dB nHL	1000 Hz 70 dB nHL	0.36*	0.04
	1000 Hz 60 dB nHL	0.35*	0.05
	2000 Hz 80 dB nHL	0.48**	0.00
	2000 Hz 70 dB nHL	0.46**	0.01
/cha/ 30 dB nHL	2000 Hz 60 dB nHL	0.40*	0.02
	1000 Hz 80 dB nHL	0.38*	0.03
	2000 Hz 80 dB nHL	0.47**	0.01
/cha/ 20 dB nHL	2000 Hz 70 dB nHL	0.37*	0.03
	500 Hz 70 dB nHL	-0.37*	0.03
	500 Hz 30 dB nHL	-0.37*	0.03

상관관계를 나타내었다. 구체적으로 어떠한 강도에서 특정 주파수와 상관성을 가지는지 세분화하기 위해 6가지 음원의 특성을 포함하여 7가지의 강도로 나누어 피어슨 상관분석을 재실시하였다. 강도별로 나누어 상관성을 본 결과(Table 2), 단음절/자/에서는 총 6가지, /차/에서는 총 15가지의 경우에서 유의미한 상관관계를 보였다.

이를 도식화하여 Fig 4로 나타내었다. 단음절/자/는 500 Hz음의 20 dB nHL, 4000 Hz의 20과 30 dB nHL의 저강도에서 상관성이 관찰되었다. 반면/차/는 500 Hz에서 저강도 30 dB nHL와 고강도 70 dB nHL에서 상관성을 보였지만, 대체적으로 1000 Hz와 2000 Hz의 60 dB 이상의 고강도음에서 상관성이 관찰되었다.

**IV. 고 찰**

본 연구는 정상 청력을 가진 20대 남녀 성인 33명을 대상으로 고주파수 대역의 에너지를 갖고 있는 두 개의 한국어 단음절, /자/와 /차/, 주파수 특이성을

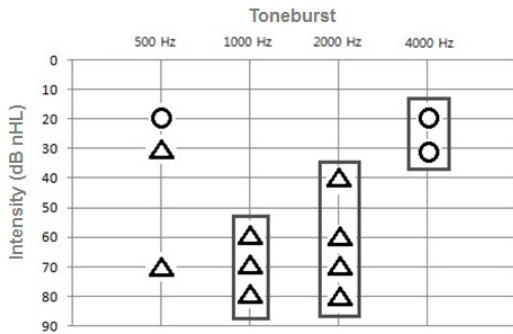


Fig. 4. Diagram for frequency correlation between monosyllables and toneburst stimuli based on intensity. Circle means /ja/ whereas the triangle stands for /cha/. In addition, three squares in the 1000, 2000, 4000 Hz are a region having a strong relation of two stimuli.

가진 톤버스트음을 이용하여 청성뇌간반응 검사의 신뢰도를 확인하고 자극음 간 주파수 상관관계를 분석하였다.

#### 4.1 단음절의 검사-재검사 신뢰도

단음절 /자/, /차/의 검사-재검사 신뢰도는 높았다. 검사-재검사 모두 파형 V의 절대잠복기는 단음절 /자/에서는 평균 7.91 ms, /차/는 7.88 ms.으로 약 7 ms 후 반대로 나타났다. 진폭에서는 검사 평균은 0.20 uV, 재검사 평균은 0.22 uV.으로 두 검사의 평균은 0.02 uV 차이만 보였다. 또한 강도가 낮을수록 절대잠복기는 길어졌고 7가지의 강도에 따른 절대잠복기는 유의하게 차이를 보였다.

Kathy는 젊은 연령대의 건청인 그룹과 노인 건청인 그룹을 대상으로 말소리(40 ms의 /da/)를 이용한 청성뇌간반응을 평가하고 말초성 청력 손실과 연령에 따른 상호작용을 살펴보고자 어음청성뇌간반응 검사를 실시하였다.<sup>[22]</sup> 노인 건청인 그룹의 어음청성뇌간반응 결과는 젊은 그룹에 비하여 말소리 시작 지점과 끝 지점이 일관성을 갖고 유의하게 늦게 발현되었고 잠복기 또한 길어졌다. 또한 진폭은 자음 변별의 단서가 될 수 있는 말소리의 시작 지점에서 크게 감소했다. 클릭음을 이용한 청성뇌간반응과 말소리(/da/)를 이용한 청성뇌간반응의 상관관계는 고주파수 대역에서 유의하게 높았다. 모든 강도에서 잠복기는 유의하게 변화되었다. 즉 강도가 줄어들수록 따라 잠복기는 전반적으로 늦게 나타났고 진폭은 감

소하였다. 본 연구에서도 강도가 감소할수록 잠복기는 유의하게 길어짐을 확인하였지만 진폭에서는 유의미한 차이를 보이지 않아 본 연구와의 차이점을 보였다.

또한 Russo *et al.*<sup>[23]</sup>의 연구에서는 말소리 음절을 이용하여 조용한 상황과 배경 소음이 있는 상황에서 어음청성뇌간반응을 실시하여 잠복기, 진폭, 기울기 등의 일시적인 정점 반응을 분석하고, 자극음의 기본주파수, 첫 번째 포먼트 진폭, 시간 등을 조절한 자극음 간 반응과 배경소음의 유무에 따른 반응의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 5개의 포먼트를 가진 /da/를 이용하여 조용한 상황에서의 잠복기의 검사-재검사 신뢰도는 높았지만 소음상황에서의 검사-재검사 신뢰도는 입증하지 못했다. 배경소음에 따른 잠복기의 변화는 다양했으며 조용한 상황보다는 잠복기가 늦게 나타났다. 조용한 상황에서도 진폭과 기울기에 따른 검사-재검사 신뢰도는 유의하지 않았는데 본 연구에서도 진폭의 검사-재검사 신뢰도가 유의하지 않음을 확인하였다.

#### 4.2 단음절과 톤버스트 주파수와의 상관관계

본 연구의 가설인 단음절은 초성자음과 순음청력 검사 결과의 주파수별 상관관계를 밝힌 기존의 연구 결과를 토대로 /ㄷ/와 /ㄷ/는 약 3000~5500 Hz의 고주파수 대역의 에너지를 대표할 수 있으며, /ㅏ/모음은 청력역치와 특정 주파수와 상관관계를 보이지 않아 선택하였다. 그러나 본 연구의 톤버스트음과 단음절의 상관관계 결과는 다르게 나타났다. 단음절 /자/는 톤버스트 500 Hz의 저강도와 상관성을 보였고 대체적으로 4000 Hz의 저강도에서 상관성이 높게 나타났다. 또한 단음절 /차/는 고강도에서 톤버스트 1000, 2000 Hz와의 상관성이 높게 나타났으며 저강도에서는 저주파수 500 Hz와도 상관성이 높게 나타남을 확인하였다.

자극음의 음향학적 특성이 신경생리적으로 받아들여졌을 때에도 다르게 표현될 수 있다고 생각한다. 전반적으로 단음절 /자/와 /차/는 총 음절 시간, 상대 진동 시작 시간, 자음 길이, 모음 길이, 기본주파수에서 비슷한 양상을 보였다. 즉 음절 /자/와 /차/의 음향학적 분석 결과 두드러지게 보이는 차이는 단지



포먼트 주파수 F2에서 81.45 Hz 차이만 나타났고 이러한 차이는 신경생리적으로 민감한 변화로 인식되지 않았다고 사료된다. 실제로 말소리의 인지나 지각은 단어의 음향학적 분석결과와 항상 일치하지 않는다. 이는 소리를 중추 신경계에서 분석하는 부호 체계가 어떻게 이루어지고 있는지를 잘 모르기 때문이다.<sup>[24]</sup> 중추 신경계는 특히 시간적 분포를 더 비중 있게 분석하고 외부의 정보를 토대로 형성된 일정한 틀을 이용한다.<sup>[25]</sup> Bregman<sup>[26]</sup>은 청각장면분석을 통해 소리를 일정한 부류로 분류하거나 통합하여 인지한다고 설명하고 있다. 또한 중성 모음 /ㅏ/가/ㅓ/나/ㅕ/보다 고주파수에 위치한 모음으로 다른 자모음 결합을 자극음으로 사용했다면 이 또한 자음 고유의 특성을 변질시킬 수 있는 신경생리학적 결과를 도출할 수 있었을 것이다.<sup>[27]</sup> Lee et al.<sup>[18]</sup>의 연구에 의하면 파찰음인 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/는 마찰음 다음으로 평균 주파수 값이 높게 나왔으며 /ㅈ/가 3671 ~ 5384 Hz, /ㅉ/는 3435 ~ 5664 Hz, /ㅊ/는 3362 ~ 5412 Hz의 주파수 범위를 보였고 통계분석 결과 긴장성 및 기식성에 따라 /ㅈ/, /ㅉ/, /ㅊ/ 간에 유의미한 차이를 보였다고 하였다. 그러나 /ㅈ/와 /ㅉ/, /ㅈ/와 /ㅊ/의 평균 주파수 값에는 유의한 차이가 없었다고 하였다. 본 연구에서 선택하여 사용하지 않은 자음과 모음을 이용하여 추후 단음절 자극음을 다양하게 연구 방법에서 적용해볼 필요가 있겠다.

### 4.3 제한점 및 후속 연구

본 연구에서 사용한 단음절 /자/와 /차/를 이용한 신경생리학적 검사 결과는 이전의 선행연구의 음향학적 분석결과와 주파수별 상관관계에서 차이를 보였다. 고주파수를 대표할 수 있는 음절을 /자/와 /차/로 선택하였으나 청성뇌간반응과 주파수별 상관관계 결과에서 다르게 나타났다는 점은 추후 다양한 자모음 단음절 결합을 통하여 실험되고 통합적으로 고찰되어야 할 부분이다. 즉 본 연구에서 사용되지 않은 다른 음절을 사용하여 음소별 특성에 살린 검사가 이루어져야 하며 보다 종합적이고 객관적인 어음 검사 도구의 개발이 필요하다. 앞으로 말소리를 이용한 청성뇌간반응 검사는 인공와우, 연령에 따른 청력 손실, 말초성과 중추성 청력 손실, 청신경병증,

외국인 등 다양한 조건의 대상자에게 실시하고 결과가 분석되어 이들을 위한 객관적인 검사 도구의 개발과 임상적 적용이 필요하다. 또한 대상자 뿐만 아니라 검사 조건, 자극음의 다양성을 가진 어음을 활용한 청성뇌간반응 검사는 추후 청각장애인의 청능 재활 프로그램의 성공 여부 등 초기 진단이나 중재에 활용되어야 하겠다. 그러나 명확한 결과를 얻기 위해 단음절 어음의 자극 조건을 결정하고 그 반응 결과를 분석하는 과정에서 기존 방식의 클릭음과 달리 어음 고유의 특성상 반응이 약하게 나타나거나 개인차가 크게 나타나는 경향이 종종 기록되었다. 이는 청자의 어음 자극 인지력 자체가 약해진 것이 아니며 정상 청력인을 바탕으로 진행된 본 연구에서는 클릭음과 단음절 간의 차이가 상대적으로 적을 수 있지만, 난청인을 대상으로 실시할 때 해석의 주의가 무엇보다 필요하다.

그러므로 본 연구의 결과를 바탕으로 한국어의 특성 중 고조, 포먼트, 시작 시간, 길이 등을 좀 더 세분화하여 다양한 말소리를 통한 청성뇌간반응 검사를 확대하고 표준화 할 필요가 있다. 즉 기존의 순음을 이용한 청성뇌간반응 검사법에 어음을 활용한 기법을 적용한다면 주관적 어음 검사 결과와 더불어 객관적인 어음청성뇌간반응 검사 결과를 청각장애인의 정확한 어음인지력을 진단하고 보청기 및 인공와우 등의 적절한 사용을 검증할 수 있겠다. 또한 다양한 말소리를 이용한 청성뇌간반응 검사 결과가 주관적 검사 결과와의 상관성을 분석하여 대상자의 말지각 능력을 예측할 뿐만 아니라 청능 재활의 방향을 제시할 수 있을 것이다. 마지막으로 배경 소음 등을 사용하여 검사 상황의 조건을 다양하게 변화시켜 말소리를 이용한 청성뇌간반응 검사의 신뢰성과 임상적 활용성을 높인다면 앞으로의 객관적 청력 검사의 한 부분으로 자리매김 할 수 있을 것이다.

### References

1. T. M. Talavage, M. I. Sereno, J. R. Melcher, P. J. Ledden, B. R. Rosen, and A. M. Dale, "Tonotopic organization in human auditory cortex revealed by progressions of frequency sensitivity," *J. Neurophysiol.* **91**, 1282-1296 (2004).
2. K. Kandler, A. Clause, and J. Noh, "Tonotopic reorganization

- of developing auditory brainstem circuits,” *Nat. Neurosci.* **12**, 711-717 (2009).
3. S. J. Luck, *An Introduction to the event-related potential technique* (The MIT Press, Cambridge, 2005), pp. 1-50.
  4. W. Han, “P1-N1-P2 complex and acoustic change complex elicited by speech sounds: Current research and applications,” *Audiol.* **6**, 121-127 (2010).
  5. J. Drift, M. Brocaar, and G. Zanten, “The relation between the pure-tone audiogram and the click auditory brainstem response threshold in cochlear hearing loss,” *Audiol.* **26**, 1-10 (1987).
  6. K. Lee, and S. Jeong, “Hearing threshold prediction using auditory brainstem response and auditory steady state response in infants and young children” (in Korean), *Korean J. Otorhinolaryngol-Head Neck Surg.* **54**, 592-602 (2011).
  7. C. H. Chien, T. Y. Tu, A. S. Shiao, S. F. Chien, Y. F. Wang, A. C. Li, and M. J. Yang, “Prediction of the pure-tone average from the speech reception and auditory brainstem response thresholds in a geriatric population,” *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec.* **70**, 366-372 (2008).
  8. C. G. Matas, “Medidas eletrofisiológicas da audição: audiometria detronco cerebral. Em: Carvallo RMM. Fonoaudiologia informação para formação,” *Procedimentos em audiologia.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 43-57 (2003).
  9. M. P. Gorga, D. W. Worthington, J. K. Reiland, K. A. Beauchaine, and D. E. Goldgar, “Some comparisons between auditory brainstem response thresholds, latencies and the pure-tone audiogram,” *Ear Hear.* **6**, 105-112 (1985).
  10. N. Russo, T. Nicol, B. Trommer, S. Zecker, and N. Kraus, “Brainstem transcription of speech is disrupted in children with autism spectrum disorders,” *Dev. Sci.* **12**, 557-567 (2009).
  11. J. H. Song, E. Skoe, P. C. Wong, and N. Kraus, “Plasticity in the adult human auditory brainstem following short-term linguistic training,” *J. Cogn. Neurosci.* **20**, 1892-1902 (2008).
  12. A. Palmer, and S. Shamma, “Physiological representations of speech,” in *Speech Processing in the Auditory System*, edited by S. Greenberg, W. A. Ainsworth, A. N. Popper, and R. R. Fay (Springer, New York, 2004).
  13. J. H. Song, K. Banai, N. M. Russo, and N. Kraus, “On the relationship between speech- and nonspeech-evoked auditory brainstem responses,” *Audiol. Neurotol.* **11**, 233-241 (2006).
  14. K. L. Johnson, T. Nicol, S. G. Zecker, A. R. Bradlow, E. Skoe, and N. Kraus, “Brainstem encoding of voiced consonant-vowel stop syllables,” *Clin. Neurophysiol.* **119**, 2623-2635 (2008).
  15. S. Greenberg, *WPP, No. 52: Temporal neural coding of pitch and vowel quality* (eScholarship, California, 1980), pp. 1-183.
  16. G. C. Galbraith, P. W. Arbagey, R. Branski, N. Comerci, and P. M. Rector, “Intelligible speech encoded in the human brain stem frequency following response,” *Neuro. Report.* **6**, 2363-2367 (1995).
  17. D. L. Strait, N. Kraus, E. Skoe, and R. Ashley, “Musical experience and neural efficiency effects of training on subcortical processing of vocal expressions of emotion,” *Eur. J. Neurosci.* **29**, 661-668 (2009).
  18. J. Lee, H. Jang, and H. Jung, “A study on frequency characteristics of Korean phonemes” (in Korean), *Audiol.* **1**, 59-66 (2005).
  19. J. Kim, H. Hong, H. Shin, K. Lee, B. Hong, and J. Lee, “Development of Korean standard monosyllabic word lists” (in Korean), *Audiol.* **4**, 126-140 (2008).
  20. *Praat: doing phonetics by computer*, <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>, 2015.
  21. F. R. Pinto, and C. G. Matas, “A comparison between hearing and tone burst electrophysiological thresholds,” *Rev. Bras. Otorhinolaryngol.* **73**, 513-522 (2007).
  22. K. R. Vander Werff, and K. S. Burns, “Brain stem responses to speech in younger and older adults,” *Ear Hear.* **32**, 168-180 (2011).
  23. N. Russo, T. Nicol, G. Musacchia, and N. Kraus, “Brainstem responses to speech syllables,” *Clin. Neurophysiol.* **115**, 2021-2030 (2004).
  24. H. No and S. Chae, “Acoustic analyses of monosyllabic words which are difficult to discriminate in the high frequency hearing loss” (in Korean), *Korean J. Otorhinolaryngol.* **44**, 700-706 (2001).
  25. A. Moller, “Review of the roles of temporal and place coding of frequency in speech discrimination,” *Acta Otolaryngol.* **119**, 424-430 (1999).
  26. A. S. Bregman, *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound* (The MIT Press, Cambridge, 2005), pp. 47-211.
  27. H. Ryu, H. Shim, and J. Kim, “A study of the relation between Korean consonant perception test (KCPT) and hearing thresholds as a function of frequencies” (in Korean), *Audiol.* **7**, 153-163 (2011).

Appendix 1. Mean latency of the wave V induced by tone burst and monosyllable stimuli as a function of intensity. Parenthesis means standard deviation.

dB nHL	Tone burst									Monosyllable								
	500 Hz			1000 Hz			2000 Hz			4000 Hz			/ja/			/cha/		
	test	retest	mean	test	retest	mean	test	retest	mean	test	retest	mean	test	retest	mean	test	retest	mean
80	0.24 (0.19)	0.22 (0.16)	0.23 (0.07)	0.23 (0.12)	0.18 (0.16)	0.21 (0.07)	0.23 (0.10)	0.35 (1.05)	0.29 (0.07)	0.21 (0.12)	0.34 (0.99)	0.28 (0.07)	0.28 (0.28)	0.25 (0.21)	0.27 (0.07)	0.28 (0.24)	0.26 (0.27)	0.27 (0.07)
70	0.22 (0.11)	0.17 (0.14)	0.20 (0.07)	0.18 (0.10)	0.14 (0.12)	0.16 (0.0)	0.18 (0.10)	0.35 (1.15)	0.27 (0.07)	0.25 (0.27)	0.33 (1.07)	0.25 (0.07)	0.25 (0.27)	0.26 (0.34)	0.26 (0.07)	0.28 (0.31)	0.23 (0.25)	0.26 (0.07)
60	0.18 (0.12)	0.15 (0.14)	0.17 (0.07)	0.17 (0.10)	0.17 (0.16)	0.17 (0.07)	0.18 (0.09)	0.35 (1.26)	0.27 (0.07)	0.17 (0.17)	0.29 (1.10)	0.23 (0.07)	0.17 (0.17)	0.20 (0.40)	0.18 (0.07)	0.19 (0.30)	0.24 (0.32)	0.22 (0.07)
50	0.13 (0.12)	0.11 (0.15)	0.12 (0.07)	0.16 (0.12)	0.10 (0.12)	0.12 (0.07)	0.18 (0.11)	0.34 (1.030)	0.26 (0.07)	0.17 (0.20)	0.28 (1.16)	0.20 (0.07)	0.17 (0.20)	0.15 (0.27)	0.16 (0.07)	0.22 (0.30)	0.24 (0.32)	0.20 (0.07)
40	0.17 (0.11)	0.09 (0.11)	0.13 (0.07)	0.17 (0.16)	0.10 (0.14)	0.13 (0.07)	0.19 (0.15)	0.35 (1.35)	0.27 (0.07)	0.21 (0.29)	0.30 (1.37)	0.22 (0.07)	0.21 (0.29)	0.12 (0.22)	0.17 (0.07)	0.29 (0.35)	0.17 (0.27)	0.21 (0.07)
30	0.14 (0.15)	0.10 (0.10)	0.12 (0.07)	0.18 (0.15)	0.09 (0.14)	0.12 (0.07)	0.15 (0.77)	0.33 (1.46)	0.24 (0.07)	0.36 (0.37)	0.31 (1.49)	0.21 (0.07)	0.36 (0.37)	0.19 (0.27)	0.27 (0.07)	0.39 (0.67)	0.12 (0.28)	0.25 (0.07)
20	0.17 (0.27)	0.08 (0.14)	0.12 (0.07)	0.17 (0.25)	0.12 (0.14)	0.12 (0.07)	0.12 (0.09)	0.37 (1.50)	0.24 (0.07)	0.19 (0.34)	0.34 (1.52)	0.23 (0.07)	0.19 (0.34)	0.20 (0.27)	0.19 (0.07)	0.35 (0.42)	0.13 (0.30)	0.24 (0.07)
Mean	0.18 (0.17)	0.13 (0.14)	0.16 (0.03)	0.18 (0.15)	0.13 (0.14)	0.16 (0.03)	0.18 (0.11)	0.35 (1.29)	0.26 (0.03)	0.23 (0.29)	0.31 (1.24)	0.23 (0.03)	0.23 (0.29)	0.20 (0.29)	0.22 (0.03)	0.29 (0.39)	0.18 (0.28)	0.24 (0.03)

**저자 약력**

▶ 전 현 지 (Hyungi Chun)



2015년 2월: 한림대학교 일반대학원 언어 청각병리학과 석사  
2015년 6월 ~ 현재: 한림국제대학원대학교 청각언어연구소 연구원  
<관심분야> 말지각, 전기생리

▶ 한 우 재 (Woojae Han)



2011년 8월: Univ. of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC) 청각학전공 박사  
2011년 9월 ~ 현재: 한림대학교 언어청각학부 청각학전공 조교수  
<관심분야> 말지각, 소음예방, 노인성난청