



# Analysis of the Latency of Auditory Brainstem Response Wave V in Infants According to Age, Hearing Threshold and Stimulus Intensity

Young Gun Kim<sup>ID</sup>, Sung Wook Jeong<sup>ID</sup>, Ah Hyun Choi, and Young Bin Yun<sup>ID</sup>

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea

영아에서 연령, 청력역치, 자극 강도에 따른 청성뇌간반응 V파 잠복기 분석

김영근 · 정성욱 · 최아현 · 윤영빈

동아대학교 의과대학 이비인후과학교실

Received September 13, 2022

Revised October 1, 2022

Accepted October 4, 2022

Address for correspondence

Sung Wook Jeong, MD, PhD  
Department of Otorhinolaryngology-  
Head and Neck Surgery,  
College of Medicine,  
Dong-A University,  
26 Daesingongwon-ro, Seo-gu,  
Busan 49201, Korea  
Tel +82-51-240-5428  
Fax +82-51-253-0712  
E-mail dau\_su@naver.com

**Background and Objectives** The latency of auditory brainstem response (ABR) wave V shifts depending on age, hearing threshold, and stimulus intensity. This study was performed to examine the latencies of ABR wave V in infants with normal hearing and sensorineural hearing loss.

**Subjects and Method** The retrospective review of ABR of 318 infants (539 ears) was performed. The patients were divided into four groups according to age at the time of the ABR test (group A: 0–2 months, group B: 3–5 months, group C: 6–8 months, and group D: 9–11 months). The test was performed using click sound under sedation, with the stimulus intensity adjusted by 10 dB intervals. The latency of wave V was analyzed according to age, hearing threshold, and stimulus intensity.

**Results** Normal hearing was detected in 320 ears (wave V threshold of 20 dBnHL or less) and sensorineural hearing loss was found in 219 ears. Wave V latencies decreased with increase in age and stimulus intensity in both normal hearing infants and hearing-impaired infants. The ears with higher thresholds showed longer latencies at the same stimulus intensity. The normative data of wave V latency of infants with varying hearing thresholds according to age and stimulus intensity could be determined.

**Conclusion** The present study examined the latencies of ABR wave V of hearing-impaired and normal hearing infants according to age and stimulus intensity. The data will help audiologists to evaluate the hearing of infants who are referred for ABR test.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2023;66(6):375-80

**Keywords** Auditory brainstem response; Infant; Sensorineural hearing loss.

## 서론

신생아 1000명 중 1-3명은 영구적인 난청을 가지고 태어난다.<sup>1,2)</sup> 신생아의 영구적 난청은 구어 의사소통 능력을 저하시키고 추후 학습과 사회적 활동의 장애를 초래할 수 있다. 그

러나 영구적 난청을 가지고 태어나더라도 조기에 청각 재활을 받으면 정상에 가까운 구어 의사소통 능력을 습득할 수 있다. 선천성 난청 아동의 초기 청각 재활을 위해 모든 신생아를 대상으로 신생아 청각선별검사를 시행하며 이를 통과하지 못할 경우 생후 3개월 이내에 난청 확진을 위한 정밀 청력검사를 시행하고, 난청이 확진되면 생후 6개월 이내에 보청기를 이용한 청각 재활을 시작한다. 고도 혹은 심도 감각신경성 난청으로 말-언어 발달의 진전이 부족할 경우에는 생후

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.

12개월 이전에 인공와우이식 수술을 시행한다.<sup>2)</sup> 이러한 일련의 초기 청각 재활 과정에서 정확한 청력역치 측정이 가장 중요한데, 이를 위해 청성뇌간반응검사를 우선적으로 시행한다.

청성뇌간반응은 I-V파의 5개의 양성파로 구성되며 그중 V파의 역치를 청성뇌간반응의 역치로 정한다.<sup>2)</sup> 청성뇌간반응 V파 역치는 실제 청력역치와 상관관계가 매우 높기 때문에, 청성뇌간반응은 객관적 청력검사법으로 널리 이용된다.<sup>3-5)</sup> 청성뇌간반응검사 중에 나타나는 여러 파형 중에서 V파를 찾는 가장 중요한 지표는 잠복기이다. 정상 청력 성인에서 70-80 dBnHL 강도의 click 자극음에 대한 V파 잠복기는 5.5-6.0 msec로 알려져 있다.<sup>6-8)</sup> 그러나 감각신경성난청이 있는 경우에는 정상 청력에 비해 잠복기가 길어지기 때문에 V파를 찾을 때 주의를 요한다. 감각신경성난청 환자에서는 청력이 나쁠수록 그리고 자극 강도가 약해질수록 V파의 잠복기가 더욱 길어진다.<sup>9)</sup> 특히 중추청각전달로가 미성숙한 영아는 동일 자극 강도에서 성인에 비해 잠복기가 길고, 연령이 어릴수록 잠복기가 더욱 길어지기 때문에 V파를 찾을 때 어려움이 따를 수 있다.<sup>9)</sup> 해외의 선행연구에서 정상 청력을 가진 영유아의 연령과 자극강도에 따른 V파 잠복기의 정상치를 보고한 바 있으나,<sup>6)</sup> 저자들의 조사 결과에 따르면 감각신경성난청을 가진 영아에서 연령, 청력역치, 자극 강도에 따른 V파 잠복기를 조사한 연구 결과는 문헌으로 보고된 바가 없다.

본 연구는 다양한 청력을 가진 감각신경성난청 영아를 대상으로 연령, 청력역치, 자극 강도에 따른 V파 잠복기를 조사하여 청성뇌간반응검사를 시행하는 청각사에게 유용한 참고자료를 제공하기 위해 시행하였다.

## 대상 및 방법

### 대 상

2016년 1월 1일부터 2021년 6월 1일까지 동아대학교병원 이비인후과에서 청성뇌간반응검사를 시행한 생후 12개월 미만의 영아 428명의 의무기록과 청성뇌간반응을 후향적으로 분석하였다.

재태주수 36-40주의 만삭아만을 포함하였으며, 전도성 난청을 가진 영아를 배제하기 위해 고막 소견에서 중이 삼출액이 있는 경우, 고막운동성계측상 B형인 경우, 선천성 외이도 폐쇄증, 이소골 기형, 구개열 등의 두개 안면기형을 가진 경우는 대상에서 제외하여 364명, 680귀의 청성뇌간반응을 분석하였다. 시간 간격을 두고 반복 검사한 경우에는 최초 검사만을 포함하였다. 이 중 역치가 100 dBnHL인 27귀와 최대자극 강도인 100 dBnHL click 자극음에 반응이 없었던 114귀를 제외하여, 최종적으로 총 318명, 539귀의 청성뇌간반응이 연

구에 포함되었다.

연구에 포함된 영아들은 연령과 청력에 따라 집단을 나누어 분석하였다. 연령별로 0-2개월, 3-5개월, 6-8개월, 9-11개월로 나누었고, 청력별로는 정상 청력(역치 20 dBnHL 이하), 경도 난청(역치 30-40 dBnHL), 중등도 난청(역치 50-60 dBnHL), 고도 난청(역치 70-90 dBnHL)으로 나누었다.

### 자료 수집 방법

청성뇌간반응 검사는 Viking Select (Nicolet Biomedical, Madison, WI, USA) 혹은 Eclipse (Interacoustics, Middelfart, Denmark) 장비를 사용하여, 영유아 청성뇌간반응 검사의 경험이 풍부한 수석 청각사가 시행하였다. 모든 검사는 수면유도제(Pocral, chloral hydrate; Hanlim Pharm. Co., Ltd., Seoul, Korea)를 복용하여 수면 상태에서 시행하였다. Click 음을 자극음으로 사용하였고 검사 시작 강도는 70 dBnHL로 하였으며 10 dB 간격으로 자극 강도를 조절하였다. 음 자극 후 5-10 ms 사이에 나타나는 양성파로서 2회 반복 측정에서 파형의 재현성이 있고, 자극 강도가 줄어들수록 잠복기가 점진적으로 연장되고 진폭이 점진적으로 작아지는 경우에 V파로 판정하였다.

각 아동별 V파 역치와 모든 자극 강도에 대한 V파 잠복기를 조사하였다.

### 분석 방법

월령으로 계산된 연령, 청력역치, 그리고 자극 강도에 따른 V파 잠복기를 분석하였다. 통계 분석은 SPSS (version 26.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA) 통계 프로그램을 이용하여 선형혼합모델(linear mixed model, LMM) 방법을 적용하여 시행하였고, *p* 값이 0.05보다 작으면 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

본 연구는 동아대학교병원 임상시험윤리위원회의 심의를 거쳐 승인을 받은 후 시행하였다(승인번호: DAUHIRB 22-135).

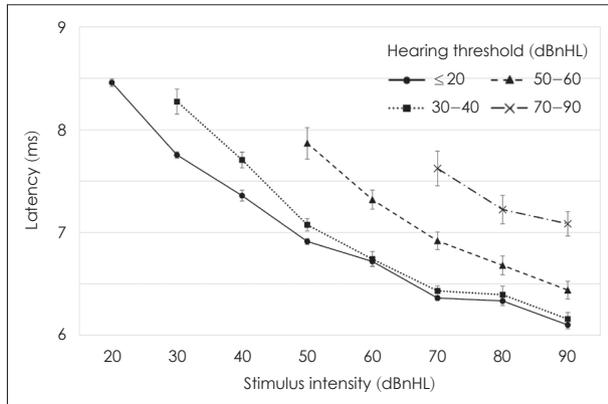
## 결 과

### 대상자의 연령 분포와 각 연령집단별 청력 분포

남아가 182명, 여아가 136명이었고, 연령 분포는 0-2개월 107명, 3-5개월 81명, 6-8개월 70명, 9-11개월 60명이었다. 청력역치는 정상이 59.4% (320귀), 경도 난청이 15.6% (84귀), 중등도 난청이 15.9% (86귀), 고도 난청이 9.1% (49귀)였다 (Table 1).

**Table 1.** The number of ears included in this study according to the age at the time of auditory brainstem response test and the wave V threshold

Age (month)	n (%)	V threshold (dBnHL)			
		≤20	30-40	50-60	70-90
0-2	184 (34.1)	109	34	27	14
3-5	133 (24.7)	77	14	26	16
6-8	113 (21.0)	66	15	16	16
9-11	109 (20.2)	68	21	17	3
Total	539 (100)	320	84	86	49



**Fig. 1.** The latencies of auditory brainstem response wave V of the infants according to stimulus intensity and hearing threshold. The latencies of wave V decrease as the stimulus intensity increases ( $p < 0.001$ , LMM) and the hearing threshold decreases ( $p < 0.001$ , LMM). Values are mean and standard error. LMM, linear mixed model.

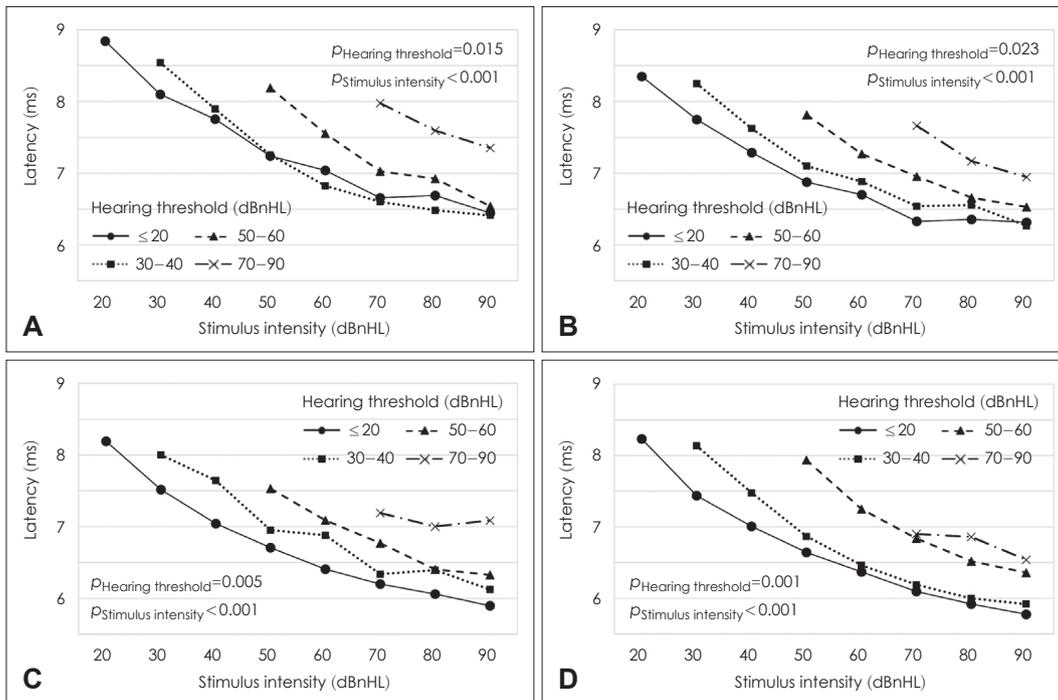
**청력과 자극 강도에 따른 V파 잠복기의 변화**

본 연구에 포함된 영아를 청력에 따라 네 집단으로 나누어 자극 강도에 따른 V파 잠복기를 분석하였다(Fig. 1). 네 집단 모두에서 자극 강도가 커질수록 V파 잠복기는 유의하게 감소하였다( $p < 0.001$ , LMM). 또한 청력역치가 높을수록 동일 자극 강도에서 V파 잠복기는 유의하게 연장되어 있었다( $p < 0.001$ , LMM).

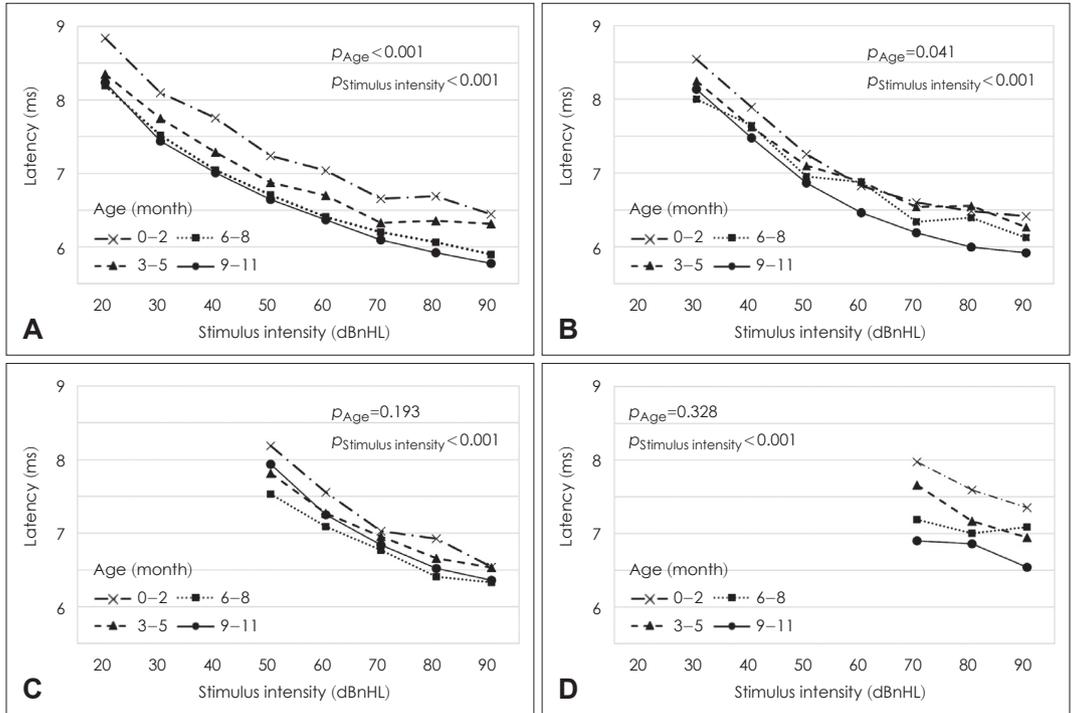
연령에 따른 잠복기 분석에서도, 모든 연령집단에서 청력역치가 높을수록 V파 잠복기는 유의하게 증가하였고( $p = 0.015$  for 0-2 months-old infants,  $p = 0.023$  for 3-5 months-old infants,  $p = 0.005$  for 6-8 months-old infants,  $p = 0.001$  for 9-11 months-old infants, LMM), 자극 강도가 증가할수록 V파 잠복기는 유의하게 감소하였다( $p < 0.001$  for all age subgroups, LMM) (Fig. 2).

**연령과 자극 강도에 따른 V파 잠복기의 변화**

본 연구에 포함된 영아를 검사 시 연령에 따라 네 집단으로 나누어 자극 강도에 따른 V파 잠복기를 분석하였다(Fig. 3 and Table 2). 정상 청력 및 경도 난청 집단에서는 연령이 증가할수록 V파 잠복기는 유의하게 감소하였다( $p < 0.001$  for normal hearing infants,  $p = 0.041$  for mild hearing loss infants, LMM). 중등도 난청 및 고도 난청 집단에서는 연령이 증가할수록 잠복기는 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유



**Fig. 2.** The mean latencies of auditory brainstem response wave V of the infants according to hearing threshold. A: 0-2 months-old infants. B: 3-5 months-old infants. C: 6-8 months-old infants. D: 9-11 months-old infants.



**Fig. 3.** The mean latencies of ABR wave V of the infants according to age at the time of ABR test. A: Normal hearing infants (threshold  $\leq 20$  dBnHL). B: Mild hearing loss infants (threshold 30–40 dBnHL). C: Moderate hearing loss infants (threshold 50–60 dBnHL). D: Severe hearing loss infants (threshold 70–90 dBnHL). ABR, auditory brainstem response.

의성은 없었다( $p=0.193$  for moderate hearing loss infants,  $p=0.328$  for severe to profound hearing loss infants, LMM). 네 청력 집단 모두에서 전 연령에 걸쳐 자극 강도가 증가할수록 V파 잠복기는 유의하게 감소하였다( $p<0.001$  for all hearing subgroups, LMM).

**연령과 청력에 따른 70 dBnHL click 자극음에 대한 V파 잠복기**

청성뇌간반응검사의 시작 강도인 70 dBnHL 자극음에 대한 V파 잠복기를 분석하였다(Fig. 4). 70 dBnHL 자극 강도에서 V파 평균 잠복기는 정상 청력군에서 6.36 msec, 경도 난청군에서 6.43 msec, 중등도 난청군에서 6.91 msec, 고도 난청군에서 7.62 msec였으며, 연령이 증가함에 따라 잠복기가 감소하는 경향을 보였다.

**고찰**

청성뇌간반응은 소리자극에 의해 청신경에서 뇌간에 이르는 청각전달로에서 발생하는 활동전위를 기록한 것으로 5개의 양성파로 구성된다. 청성뇌간반응의 I파는 청신경, II파는 와우핵, III파는 상올리브복합체, IV파는 외측 섬유대, V파는 하구에서 기원하는 것으로 알려져 있다.<sup>10-12)</sup> V파가 나타나는

최소 자극 강도를 청성뇌간반응의 역치로 정하며 V파 역치를 판정하는 가장 중요한 지표 중 하나는 잠복기이다.

V파 잠복기는 출생 후 점진적으로 감소한다. 청신경에서 하구에 이르는 뇌간의 청각전달로에서 태아 26-29주 사이에 축삭의 수초화가 발생하고, 생후 1년까지 수초화 밀도가 급격히 증가한다.<sup>13)</sup> 뇌간을 통한 청각전달로의 수초화 증가로 인해 신경전도속도가 빨라져 V파의 잠복기가 감소한다.<sup>9)</sup> V파 잠복기는 생후 2세경까지 점진적으로 감소하여 성인의 수준에 도달하며, 이후 일정하게 유지되는 것으로 알려져 있다.<sup>9,13,14)</sup>

Gorga 등<sup>6)</sup>은 정상 청력(20 dBnHL 자극음에 V파가 나타나는 경우)을 가진 36개월 이하 영유아 535명의 V파 잠복기를 조사하였다. 이 중 238명이 12개월 이하 영아였는데, 80 dBnHL click 자극음에 대한 V파 평균 잠복기는 3-6개월에 6.253 msec, 6-9개월에 6.101 msec, 9-12개월에 5.899 msec로, 출생 후 V파 잠복기가 점진적으로 줄어드는 양상을 보고하였다. 연구에서 사용한 최소 자극 강도인 20 dBnHL 자극음에 대한 V파 평균 잠복기는 3-6개월에 8.717 msec, 6-9개월에 8.591 msec, 9-12개월에 8.310 msec로 최소 자극 강도에서도 연령이 증가함에 따라 V파 잠복기가 감소하였다.

본 연구에서는 정상 청력을 가진 영아와 감각신경성난청을 가진 영아를 모두 포함하여 연령, 자극 강도, 그리고 난청의 정도에 따른 V파 잠복기를 조사하였다. 연령이 증가할수록,

**Table 2.** The mean latencies of auditory brainstem response wave V of the infants according to age, hearing threshold and stimulus intensity

Age (month)	Stimulus intensity (dBnHL)	Normal hearing infants (threshold ≤ 20 dBnHL)		Mild hearing loss infants (threshold 30–40 dBnHL)		Moderate hearing loss infants (threshold 50–60 dBnHL)		Severe hearing loss infants (threshold 70–90 dBnHL)	
		M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
0–2 (n=184)	20	8.84	0.07						
	30	8.10	0.05	8.54	0.23				
	40	7.75	0.09	7.89	0.13				
	50	7.24	0.04	7.26	0.11	8.19	0.27		
	60	7.04	0.07	6.83	0.12	7.55	0.12		
	70	6.66	0.04	6.60	0.07	7.03	0.12	7.98	0.24
	80	6.69	0.07	6.48	0.11	6.92	0.12	7.59	0.24
3–5 (n=133)	90	6.44	0.05	6.41	0.09	6.54	0.10	7.35	0.23
	20	8.35	0.05						
	30	7.75	0.04	8.25	0.14				
	40	7.29	0.06	7.62	0.12				
	50	6.88	0.04	7.10	0.11	7.81	0.21		
	60	6.70	0.05	6.88	0.08	7.27	0.14		
	70	6.33	0.04	6.54	0.12	6.95	0.15	7.66	0.44
6–8 (n=113)	80	6.36	0.04	6.56	0.06	6.66	0.14	7.17	0.24
	90	6.31	0.11	6.27	0.09	6.53	0.09	6.95	0.16
	20	8.19	0.07						
	30	7.52	0.07	8.00	0.34				
	40	7.04	0.08	7.64	0.16				
	50	6.71	0.06	6.95	0.13	7.53	0.28		
	60	6.41	0.04	6.88	0.10	7.09	0.23		
9–11 (n=109)	70	6.20	0.05	6.34	0.11	6.77	0.18	7.19	0.20
	80	6.06	0.04	6.40	0.34	6.41	0.23	7.00	0.25
	90	5.90	0.04	6.12	0.04	6.33	0.10	7.09	0.24
	20	8.23	0.06						
	30	7.44	0.04	8.14	0.23				
	40	7.01	0.11	7.48	0.15				
	50	6.64	0.04	6.87	0.11	7.94	0.51		
60	6.37	0.10	6.46	0.08	7.25	0.32			
9–11 (n=109)	70	6.09	0.03	6.19	0.09	6.84	0.28	6.90	
	80	5.92	0.06	6.00	0.13	6.52	0.33	6.86	0.20
	90	5.77	0.04	5.92	0.11	6.36	0.26	6.54	0.31

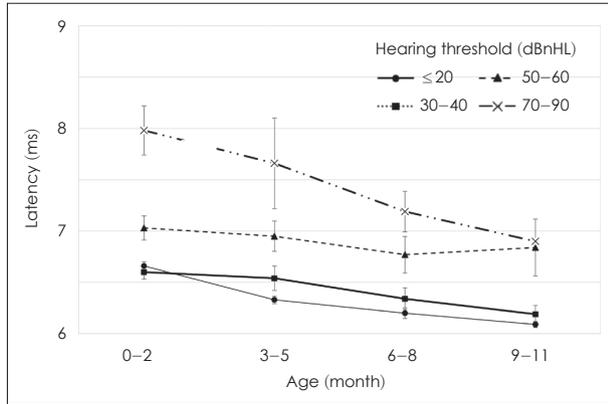
M, mean; SE, standard error

그리고 자극 강도가 커질수록 V파 잠복기가 유의하게 감소하고, 난청이 심할수록 V파 잠복기가 유의하게 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 정상 청력군에서는 생후 6개월까지 V파 잠복기가 빠르게 감소하다가 생후 12개월까지 완만하게 감소하는데 비해 감각신경성난청군에서는 생후 12개월까지 V파 잠복기가 비교적 일정하게 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 3). 이는 정상 청력 영아와 감각신경성난청 영아의 뇌간을 통한 중추경로의 발달 양상이 상이할 수 있음을 시사하는 소견으로 추정된다.

자극 강도가 감소하면 V파 잠복기가 길어지는데, 강자극에

서는 자극 강도 감소에 따른 V파 잠복기 연장의 정도가 적은 반면, 약자극에서는 자극 강도 감소에 따른 V파 잠복기 연장이 두드러진다. 선행 연구에서 60 dBnHL 이상 강도에서는 10 dB 마다 약 0.1–0.2 msec, 60 dBnHL 이하 강도에서는 10 dB 마다 약 0.5–0.6 msec의 V파 잠복기 변화가 발생한다고 보고한 바 있다.<sup>15)</sup> 본 연구에서도 자극 강도의 감소에 따라 V파 잠복기가 증가하였고, 정상 청력군과 감각신경성난청군 모두에서 강자극에 비해 약자극에서 잠복기 감소폭이 커지는 경향을 확인할 수 있었다 (Fig. 1).

결론적으로 본 연구에서는 정상 청력 혹은 감각신경성난



**Fig. 4.** The latencies of ABR wave V of the infants at 70 dBnHL click stimulus according to age and hearing threshold. Values are mean and standard error.

청을 가진 12개월 미만 영아 318명의 539귀를 대상으로 연령 (0-11개월), 청력 역치(정상-고도 감각신경성난청), 그리고 자극 강도(20-90 dBnHL)에 따른 청성뇌간반응 V파 잠복기를 조사하여 그 평균치를 표준오차와 함께 제시하였다. 본 연구의 결과치는 영아의 청성뇌간반응 검사를 시행하는 청각사에게 유용한 참고자료가 될 것으로 기대된다.

**Acknowledgments**

This work was supported by the Dong-A University research fund.

**Author Contribution**

Conceptualization: Sung Wook Jeong. Data curation: Young Gun Kim, Young Bin Yun, Ah Hyun Choi. Formal analysis: Sung Wook Jeong. Writing—original draft: Young Gun Kim. Writing—review & editing: Sung Wook Jeong.

**ORCIDiDs**

- Young Gun Kim <https://orcid.org/0000-0002-4874-4311>
- Sung Wook Jeong <https://orcid.org/0000-0002-5445-1638>
- Young Bin Yun <https://orcid.org/0000-0001-6459-5910>

**REFERENCES**

1) Erenberg A, Lemons J, Sia C, Trunkel D, Ziring P. Newborn and

infant hearing loss: Detection and intervention. Task force on newborn and infant hearing. *Pediatrics* 1999;103(2):527-30.

2) Kim LS, Jung SW. Hearing threshold prediction using auditory brainstem response and auditory steady-state response in infants and young children. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2011;54(9):592-602.

3) Stapells DR, Picton TW, Durieux-Smith A, Edwards CG, Moran LM. Thresholds for short-latency auditory-evoked potentials to tones in notched noise in normal-hearing and hearing-impaired subjects. *Audiology* 1990;29(5):262-74.

4) Sininger YS. Auditory brain stem response for objective measures of hearing. *Ear Hear* 1993;14(1):23-30.

5) Stapells DR, Gravel JS, Martin BA. Thresholds for auditory brain stem responses to tones in notched noise from infants and young children with normal hearing or sensorineural hearing loss. *Ear Hear* 1995;16(4):361-71.

6) Gorga MP, Kaminski JR, Beauchaine KL, Jesteadt W, Neely ST. Auditory brainstem responses from children three months to three years of age: Normal patterns of response. II. *J Speech Hear Res* 1989;32(2):281-8.

7) Scaiola V, Brinciotti M, Di Capua M, Lori S, Janes A, Pastorino G, et al. A multicentre database for normative brainstem auditory evoked potentials (BAEPs) in children: Methodology for data collection and evaluation. *Open Neurol J* 2009;3:72-84.

8) Kim LS, Heo SD. Auditory brainstem response. *J Clin Otolaryngol Head Neck Surg* 1996;7(2):274-93.

9) Sininger YS, Abdala C, Cone-Wesson B. Auditory threshold sensitivity of the human neonate as measured by the auditory brainstem response. *Hear Res* 1997;104(1-2):27-38.

10) Selters WA, Brackmann DE. Acoustic tumor detection with brain stem electric response audiometry. *Arch Otolaryngol* 1977;103(4):181-7.

11) Møller MB, Møller AR. Brainstem auditory evoked potentials in patients with cerebellopontine angle tumors. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1983;92(6 Pt 1):645-50.

12) Musiek FE, Johnson GD, Gollegly KM, Josey AF, Glasscock ME 3rd. The auditory brain stem response interaural latency difference (ILD) in patients with brain stem lesions. *Ear Hear* 1989;10(2):131-4.

13) Johnson KL, Nicol T, Zecker SG, Kraus N. Developmental plasticity in the human auditory brainstem. *J Neurosci* 2008;28(15):4000-7.

14) Sharma M, Bist SS, Kumar S. Age-related maturation of wave V latency of auditory brainstem response in children. *J Audiol Otol* 2016;20(2):97-101.

15) Coats AC. Human auditory nerve action potentials and brain stem evoked responses. *Arch Otolaryngol* 1978;104(12):707-17.