

Role of Cochlear Microphonic in Newborn Hearing Test

Min Kyu Kwak, Jae Ho Chung, Chul Won Park, Kyung Rae Kim,
Sun Wook Kim, and Seung Hwan Lee

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Hanyang University College of Medicine, Seoul, Korea

신생아 청력검사서 와우 음전기 전위의 역할

곽민규 · 정재호 · 박철원 · 김경래 · 김선욱 · 이승환

한양대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Received September 19, 2014

Revised December 12, 2014

Accepted December 25, 2014

Address for correspondence

Seung Hwan Lee, MD
Department of Otorhinolaryngology-
Head and Neck Surgery,
Hanyang University
College of Medicine,
222-1 Wangsimni-ro, Seongdong-gu,
Seoul 133-817, Korea
Tel +82-31-560-2363
Fax +82-31-566-4884
E-mail shleemd@hanyang.ac.kr

Background and Objectives Cochlear microphonic (CM) is an electrical potential generated by outer hair cells in response to acoustic stimulation. The aim of this study is to evaluate the significance of CM in neonatal hearing loss.

Subjects and Method From April 2013 to April 2014, 64 neonates hospitalized in neonatal intensive care unit were enrolled. Subjects underwent transient evoked otoacoustic emission (TEOAE), auditory brain stem response (ABR) and CM. We analyzed the results of hearing tests and the correlation between CM and the other test modalities.

Results Ninety two ears showed normal ABR waves whereas the other 36 ears had abnormal ABR. There were two neonates who were suspected of auditory neuropathy because of the presence of TEOAE and CM. Among 14 ears who showed abnormal OAE results, 12 ears (86%) were identified as having CM. The amplitudes of CMs were correlated with the reproducibility of TEOAE ($p < 0.005$). Between the ears with positive TEOAE and others with negative TEOAE, the amplitudes of CMs were significantly different ($p < 0.005$).

Conclusion Many ears were identified with the presence of CM without TEOAE response because of the the vulnerability of OAE from middle ear status and environment. We suppose that CM might provide information on outer hair cell function to complement the OAE in neonatal hearing test.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2015;58(6):389-94

Key Words Auditory neuropathy · Cochlear microphonic potentials · Hearing loss · Neonatal screening.

서 론

신생아 난청 발생률은 1000명당 1명 정도로 이는 다른 선천성 질환에 비하여 매우 높은 편이며, 특히 출생 직후 난청 발생의 위험인자를 지닌 경우 난청 발생률은 1000명당 13명으로 훨씬 높아진다.¹⁾

신생아 난청의 진단이 늦어지는 경우에는 언어 발달의 중요한 시기를 놓치게 되어 장기적인 의사소통 장애를 갖는 경우가 있어 조기 진단이 매우 중요하다.²⁾ 현재 신생아 청력 선별 검사로 이용되고 있는 검사는 자동화 이음향방사검사(otoacoustic emission, OAE)와 자동화 청성뇌간반응검사(au-

tomated auditory brainstem response, AABR)이다.^{1,3,4)} 신생아 청력 선별검사서 재검이 나온 경우는 진단적 검사를 위해 이비인후과에 의뢰되어 추가적인 청력검사를 시행하여 난청의 원인, 정도, 양상을 판단한다.

최근 외유모세포의 기능은 정상이지만, 청신경 경로의 문제로 난청이 발생하는 청신경병증에 대한 관심이 증가되어 청신경병증의 진단에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 특별히 외유모세포의 기능을 판단함에 있어 와우 음전기 전위의 역할에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.⁴⁾

와우 음전기 전위(cochlear microphonic, CM)는 와우의 외유모세포(outer hair cell)에서 나오는 휴지기 교류 전위로 일반

적으로 전기와우도 검사(electrocochleography, ECoG)에서 측정이 가능하다.⁵⁾ 또한 청성뇌간반응검사 시에도 I wave에 선행하여 발생하는 와우 음전기 전위를 관찰할 수 있으며, 이는 청신경병증을 포함한 감각신경성 난청의 진단에 이용할 수 있다.⁶⁻⁸⁾ 하지만 국내에서는 와우 음전기 전위에 대한 연구가 활발하지 않고, 신생아 청력선별검사서 이상 소견을 보여 정밀검사가 의뢰된 경우에도, 와우 음전기 전위를 측정하는 경우가 많지 않다.⁴⁾

이에 본 연구에서는 신생아 중환자실에 입원한 환아를 대상으로 와우 음전기 전위, 청성뇌간반응검사, 이음향방사검사를 이용하여 진단적 청력검사를 시행하여, 신생아 청력검사서 와우 음전기 전위의 의미를 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

2013년 4월부터 2014년 4월까지 본원 신생아 중환자실에 입원한 64명의 환아를 대상으로 유발이음향방사검사와 청성뇌간반응검사 및 와우 음전기 전위검사를 시행하였다. 대상 환아는 남아 40명, 여아 24명이었고 청력검사는 평균 생후 6.8±4.2일에 시행하였다. 대상자의 중환자실 평균 체류기간은 8.8±3.4일이었다.

청성뇌간반응검사는 Biologic Navigator Pro(Natus Medical Inc., Mundelein, IL, USA)를 이용하여 시행했다. 검사의 자극음은 클릭음을 이용했고, 극성은 교대상(alternating)을 사용하였다. 전위의 증폭기(amplifier)는 10만 배 정도로 반응을 증폭하여 기록하였으며, 고역통과필터(high pass filter)는 3000 Hz, 저역통과필터(low pass filter)는 300 Hz로 설정하였다. 청력 역치는 자극음의 크기를 30 dB nHL부터 90 dB nHL까지 10 dB nHL 간격으로 변화하면서 V파를 관찰할 수 있는 가장 작은 자극음의 크기로 정하였다. 40 dB nHL 이하의 역치를 보이고 90 dB nHL에서 잠복기와 파형이 모두 정상 범위에 드는 경우를 정상 청력역치로 분류하였으며 50 dB nHL 이상의 청력역치를 보인 경우와 최대 음자극에서도 파형이 나타나지 않는 경우로 분류하였다.

와우 음전기 전위는 청성뇌간반응검사에 사용되는 동일한 표면 전극을 이용하여 청성뇌간반응검사 시행 전에 측정하였다. 와이도에 삽입된 변환기(transducer)를 통하여 90 dB nHL의 자극음을 희박상(rarefaction)과 압축상(condensation)으로 제시하여 제I파보다 선행하는 파형을 얻었다. 자극음의 위상에 따라 반전되는 정현 곡선(sinusoidal segment)이 관찰되고 교대상 자극에서는 파형이 소실되는 경우를 와우 음전기 전위로 판단하였으며, 전자력 커플링(electromagnetic coupling)과 감별하기 위해 변환기를 클램핑하였을 때 파형이 소

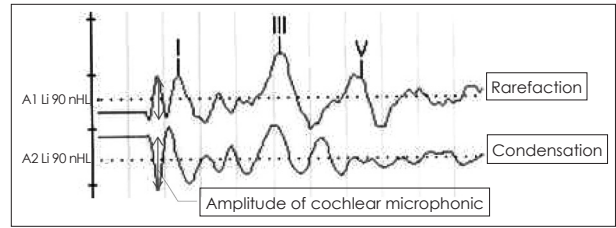


Fig. 1. Cochlear microphonics in 90 dB nHL.

실됨을 확인하였다. 이 같은 방법으로 와우 음전기 전위의 유무와 진폭을 측정하였다(Fig. 1).

이음향방사는 ILO92(Otodynamics, England, UK)를 이용하여 클릭음 유발이음향방사검사를 시행하였다. 자극음은 클릭음을 1~4 kHz, 84 dB SPL의 강도로 사용하였고, 판독은 재현율(reproducibility)이 50% 이상이면서 5 dB 이상의 자극음 강도(echo response)를 보이는 경우를 양성(+)으로 하였고, 이에 해당되지 않는 경우를 음성(-)으로 하였다.

대상 환아들은 모두 방음 처리된 청력검사실에서 검사를 시행하였으며 주로 신생아가 잠자는 시간을 이용하여 안정을 위한 투약은 필요하지 않았다. 모든 검사는 보호자의 동의하에 이루어졌으며, 본 연구는 임상시험기관 심사위원회의 감시하에 진행되었다.

통계 소프트웨어인 SPSS version 18(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였다. Pearson 상관분석으로 와우 음전기 전위의 진폭과 청성뇌간반응검사 및 유발이음향방사검사 결과와의 관계를 알아보았고, 유발이음향방사검사 결과에 따라 대상을 청력 정상군과 비정상군으로 구분하여 두 군의 와우 음전기 전위의 진폭 차를 독립 t검정으로 비교하였으며, 유의 수준 0.05 미만을 통계적으로 유의한 것으로 판단하였다.

결 과

환자군의 특성

입원 시 진단명을 살펴보면 신생아 호흡곤란 증후군이 25예(39.1%)로 가장 많았고 신생아 황달이 24예(37.5%), 조산 20예(31.3%) 등이었다. 조산의 경우 평균 재태연령은 34주 4일(±7.5일)이었으며 환아들은 대부분 두 개 이상의 질환들을 동시에 갖고 있었다(Table 1).

청력검사 결과

청력검사를 시행한 64명, 128귀 중 청성뇌간반응검사서 최대 역치에서도 파형이 나타나지 않는 경우가 3예(2.3%) 있었으며 33예(25.8%)에서는 50 dB nHL 이상의 청력 역치 상승을 보였고, 92예(71.9%)에서 정상 청력을 보였다(Table 2). 파형

Table 1. Disease entities of neonates who undergone hearing test

Causes of NICU care	No. of patients (n=64)	Percentage (%)
Respiratory distress syndrome	25	39.1
Neonatal jaundice	24	37.5
Prematurity	20	31.3
Transient tachypnea of newborn	18	28.1
Low birth weight infant	5	7.8
Congenital heart disease	4	6.3
Sepsis	4	6.3
Others	8	12.5

NICU: neonatal intensive care unit

Table 2. Classification of neonates according to the result of hearing test

	OAE (+) (n=114)		OAE (-) (n=14)	
	CM (+)	CM (-)	CM (+)	CM (-)
Normal ABR threshold (n=92)	86	0	5	1
Increased ABR threshold (n=33)	25	1	6	1
No ABR wave (n=3)	2	0	1	0

OAE: otoacoustic emission, CM: cochlear microphonic, ABR: auditory brainstem response

이 나타나지 않은 3예 중 2예는 한 환자의 귀였으며 이음향방사검사서 양성 소견을 보였고 와우 음전기 전위가 나타나 청신경병증을 고려하여 추적 관찰하였다(Fig. 2). 또한 파형이 나타나지 않은 3예 중 1예는 이음향방사검사서 음성이었으나 와우 음전기 전위는 나타났으며, 외래에서 시행한 추적 검사에서도 같은 결과를 보여 청신경 병증을 의심할 수 있었다.

유발이음향방사검사서 양성으로 나온 114예 중 113예에서 와우 음전기 전위가 나타났으며, 와우 음전기 전위를 보이지 않은 1예는 청성뇌간반응에서 청력 역치의 상승을 보였다. 이음향방사검사서 음성으로 나온 14예 중 12예에서 와우 음전기 전위가 나타났으며 그중 2예에서는 고막 소견상 삼출성 중이염을 확인할 수 있었다(Table 2). 청성뇌간반응검사서 이상소견을 보였던 36예 중 30예에서 청성뇌간반응검사를 재시행하였으며, 이 중 4예에서 이상소견을 확인하였다.

와우 음전기 전위와 이음향방사 및 청성뇌간반응의 상관성

와우 음전기 전위의 진폭은 유발이음향방사검사의 재현율과 유의한 상관성을 보였다(Table 3). 또한 유발이음향방사검사를 기준으로 양성과 음성 반응으로 청력을 나누어 와우 음전기 전위의 진폭을 분석해본 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Table 4). 하지만 청성뇌간반응검사 결과를 기준으로 정상군과 비정상군의 와우 음전기 전위의 진폭을 비교하였을 때에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5).

고 찰

현재 신생아 청력검사에는 유발이음향방사검사와 청성뇌간반응검사 등이 주로 사용된다. 유발이음향방사는 1978년 Kemp에 의해 처음 유용성이 입증된 이래 선별검사로 많이 시행되고 있는 검사로 피검자에게 소리 자극을 준 뒤 와우의 외유모세포에서 발생하는 음향 에너지의 진동파를 외이도에 다시 측정하는 검사법이다. 비침습적이며 마취가 필요하지 않고, 검사 시간이 수분 내로 짧고 검사 비용이 저렴하다는 장점이 있으나, 청각신경과 뇌간의 청각 신경로와는 상관이 없다는 것과 삼출성 중이염이 있는 경우 와우 외유모세포가 정상이라도 검사 결과가 나쁘게 나올 수 있다는 것, 주위 환경이나 피검자의 신체 소음에 의한 영향을 받는 것이 단점으로 지적된다. 이음향방사가 나타나지 않는 경우 30~40 dB 이상의 청력 손실이 있는 것으로 해석할 수 있다.⁹⁾ 청성뇌간반응검사는 1971년 Jewett과 Williston에 의해 처음 보고되었으며 1978년 Galambos에 의해 영아에서 30~40 dB로 V파를 찾는 선별검사로 시행되면서 유용하게 사용되고 있다. 장점으로는 마취, 수면 등에 비교적 영향을 받지 않는다는 점, 비침습적이며 중이의 상태에 영향을 적게 받고 재생성과 신뢰성이 높다는 점이 있다. 반면 검사 소요 시간이 많이 걸리고 숙련된 검사자가 필요하며 비용이 많이 드는 것이 단점이다.^{1,10)}

최근에는 자동화 이음향방사검사와 자동화 청성뇌간반응검사가 도입되어 신생아 청각선별검사에 이용되고 있었으며, 신생아 중환자실 환아의 경우 자동화 검사에서 재검 소견이 나오게 되면 정밀 청력검사를 시행하는 것으로 권고하고 있다.⁴⁾

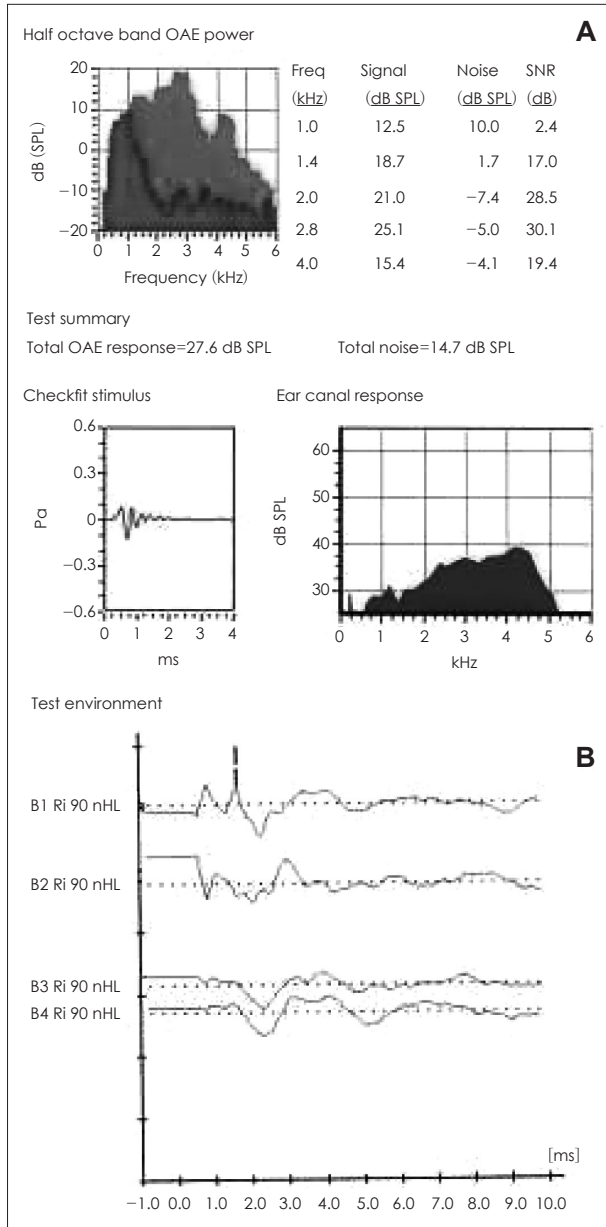


Fig. 2. Example of OAE test (A) and cochlear microphonic (B) of patient suspicious for auditory neuropathy. OAE: otoacoustic emission.

신생아 청력검사로 조기 진단이 가능한 질환 중 최근 관심이 높아지고 있는 질환 중 하나는 청신경병증(auditory neuropathy)이다. 청신경병증은 외유모세포의 기능은 정상이나 내유모세포에서 제1형 청신경세포를 통한 청각전달경로상의 이상에 기인하는 질환으로서 이음향방사는 나타나지만 청성뇌간반응은 나타나지 않거나 비정상적인 특성을 보인다.¹¹⁾ 청신경병증이라는 병명은 1996년 Starr 등¹¹⁾이 난청을 가진 소아, 청소년들 중 이음향방사는 정상을 보이거나 비정상적인 청성뇌간반응유발검사 및 낮은 어음명료도를 보이는 10명의 환자를 보고하면서 처음으로 사용되었다. 유소아 감각신경성 난청의 약 10%에 이르는 것으로 생각되며 주로 양측성으로 발생하고, 주로 소아에서 발병하는 경우가 많으나 성인에서도 나타날 수 있다. 순음청력역치는 정상에서 고도 난청까지 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 최근 청신경병증이라는 용어는 그 질환의 이질성과 다면성에 대한 개념이 대두되며 청신경병증스펙트럼질환(auditory neuropathy spectrum disorder, ANSD)이라는 개념으로 확대되고 있다.¹²⁾ 발생의 위험인자로는 고빌리루빈혈증, 저산소증, 이독성 약물 등이 있어 병력상 이러한 위험인자들을 가진 영아나 유소아에서 청력검사 이상 시 의심해 볼 필요가 있다. 청신경병증의 진단에 있어 와우 음전기 전위검사가 보조적인 역할을 할 수 있는데 일부 환자에서 시간이 경과함에 따라 이음향방사가 사라질 수 있는 반면 와우 음전기 전위는 계속 나타난다는 점 때문이다.^{11,13,14)}

와우 음전기 전위는 전기와우도검사를 통해 측정할 수 있다. 전기와우도검사는 음자극에 따른 전기적 반응을 기록하여 와우의 이상 유무 등을 관찰할 수 있는 검사로서 신뢰도

Table 3. Correlations between amplitude of cochlear microphonics and reproducibility in TEOAE

Correlations	r*	p-value
CM (rarefaction) versus Reproducibility	0.344	<0.001
CM (condensation) versus Reproducibility	0.369	<0.001

*Pearson's correlation test. TEOAE: transient evoked otoacoustic emission, CM: cochlear microphonic

Table 4. Comparison of amplitude of CMs according to OAE test

	Reproducibility (≥50)	Reproducibility (<50)	p-value
CM amplitude (rarefaction)	0.68±0.25	0.40±0.20	<0.001
CM amplitude (condensation)	0.67±0.25	0.33±0.23	<0.001

CM: cochlear microphonic, OAE: otoacoustic emission

Table 5. Comparison of amplitude of CMs according to auditory brainstem response threshold

	Normal ABR threshold (n=92)	Abnormal ABR threshold (n=36)	p-value
CM amplitude (rarefaction)	0.65±0.25	0.66±0.27	0.86
CM amplitude (condensation)	0.64±0.26	0.64±0.31	0.99

CM: cochlear microphonic, ABR: auditory brainstem response

가 높다. 측정방법은 활성전극의 위치에 따라 경고막유도법(transtympanic ECoG)과 고막외유도법(extratympanic ECoG)으로 나누어진다. 경고막유도법은 전극을 와우 외벽(promontory)에 위치시켜 와우 음전기 전위를 측정하므로 측정시간이 짧고 안정된 파형과 높은 전위를 얻을 수 있으나, 침습적이다. 반면, 외이도에 전극이 위치하는 고막외유도법은 전위가 낮은 것이 단점이다. 최근에는 고막유도법(tympanic ECoG)으로 전기와우도 검사를 시행하기도 한다.^{5,15,16} 신생아에서는 상기 방법들을 적용하기는 어려움이 있어 표면전극을 이용한 와우 음전기 전위측정법이 제안되었다.⁶ 이 같이 표면전극으로 측정된 와우 음전기 전위의 존재 여부를 청신경병증의 진단에 활용할 수 있다. 또한 와우 음전기의 80~85%는 외유모세포에서 기원하지만 나머지 10~15%는 내유모세포의 기능을 반영한다. 따라서 전기와우도 검사와 동시에 와우 음전기의 진폭과 임출력 함수(I/O functions)분석을 통해 청신경병증의 병변 부위를 예측할 수 있는 것으로 알려져 있다.⁷ 또한 와우 음전기 전위검사는 외유모세포의 생리를 직접적으로 분석하는 방법으로 감각신경의 일차적 손상이 있는 경우 청각 수용체의 생리를 반영한 보다 직접적인 정보를 제공한다.¹³

저자들은 와우 음전기 전위검사를 신생아 중환자실 환아들에게 적용하여 그 유용성을 평가하고자 하였다. 본 연구의 결과, 청성뇌간반응에서 최대 음자극에도 파형이 나타나지 않은 3예 중 2예는 한 환자의 귀였고 이음향방사검사와 와우 음전기 전위검사가 양성으로 나와 청신경병증을 의심할 수 있었다. 파형이 나타나지 않은 3예 중 1예는 이음향방사검사서 음성으로 나타났으나 고막 소견은 정상이었으며 와우 음전기 전위는 정상적으로 나타났다. 이러한 경우, 와우 음전기 전위검사를 시행하지 않았다면 청신경병증의 가능성이 있는 환자를 감각신경성 난청과 감별하지 못한 상태로 추적 관찰하게 될 수도 있을 것이다.

Ansar 등의 연구에서는 Newborn Hearing Screening Programme in the UK의 기준에 따라 청성뇌간반응검사에서 80 dB nHL 이상의 음자극에 반응이 없거나 이상 반응을 보이며 와우 음전기 전위가 존재하는 경우를 청신경병증으로 진단하여 증례를 보고한 바가 있다.⁸ 또한 최근에는 청신경병증 환자에서 특별히 높은 진폭의 와우 음전기 전위가 나타난 사례가 보고되고 있어 청성뇌간반응검사 시에 와우 음전기 전위 측정의 필요성을 강조하고 있다.^{8,17} 검사 시에 발생하는 아티팩트로 인해 와우 음전기의 임상적 적용이 많은 제한이 되는 것으로 알려져 있다.⁷ 본 연구에서는 이를 제어하기 위해 변환기를 클램핑하여 음자극의 소실에 따른 파형의 와우 음전기의 소실을 확인하였다.

또한 본 연구에서는 이음향방사는 확인되었으나, 와우 음전기 전위가 관찰되지 않은 경우가 1예 있었다. 그리고 정상 청성뇌간반응을 보인 환자에서도 이음향방사와 와우 음전기 전위가 나타나지 않은 1예를 확인하였다. 두 경우 모두 외래에서 추적하여 시행한 청력검사에서 정상 소견을 확인하였으며, 검사 오류 혹은 청각회로의 늦은 발달로 인한 결과로 추측할 수 있다.

와우 음전기 전위와 순음청력검사와의 상관성 분석을 통해 와우 음전기 전위의 정확성 및 청력 평가에 대한 유용성을 주장한 연구도 있었다.¹⁸ 하지만 본 연구에서 청성뇌간반응검사의 역치에 다른 와우 음전기 전위의 진폭은 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이는 50~60 dB 이하에서는 와우 음전기 전위가 신뢰도 있게 나타나지 않아 와우 음전기 전위로 청력역치를 예측하는 데는 어렵다는 기존의 연구와 유사하다.⁸

본 연구에서 와우 음전기 전위의 진폭과 유발이음향방사검사의 재현율은 유의한 상관성을 보여 와우 기능 평가에 있어 두 검사법의 관련성은 보였으나, 정상과 비정상 청력을 경계지를 만든 와우 음전기 전위 진폭의 절단값(cut off value)을 구하는 데는 어려움이 있었다. 추후에 연구 대상이 늘어난다면 신뢰도 있는 절단값을 구하는 것도 가능할 것으로 생각된다.

유발이음향방사검사서 음성으로 나타난 14예 중 와우 음전기 전위가 나타난 경우가 12예 있었고 이 중 고막 소견상 삼출성 중이염 소견을 보인 경우가 2예 있었다. 1예는 신생아 황달과 혈소판저하증으로 입원 중이었으며 청성뇌간반응에서 정상 소견을 보였고, 1예는 조산(재태연령 36주 5일), 호흡곤란증후군으로 입원한 환아로 청성뇌간반응에서 80 dB nHL로 상승된 청력역치를 보였다. 이와 같이 와우 기능이 정상이더라도 중이 상태에 따라 위음성으로 나타날 수 있는 이음향방사검사의 단점을 보완해 줄 수 있는 검사로 와우 음전기 전위가 의미 있다고 생각된다. 정상 고막 소견을 보인 나머지 10예의 경우는 중이내 병변을 가지고 있으나 고막의 이상 소견으로는 나타나지 않았을 가능성이 있으며 환아의 협조가 되지 않아 검사 자체가 잘못되었을 수 있다.^{19,20} 또한 30 dB 이상의 중등도 난청이 있으나 잔존 청력이 있는 경우는 90 dB의 음자극을 이용한 와우 전위검사에서는 양성으로 나왔을 것이라 해석할 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 초기 청력검사에서 이상 소견을 보인 경우 이경 또는 현미경을 이용하여 고막 소견을 관찰했으나 고실도검사(tympanometry) 등의 추가검사는 시행하지는 않아 중이 및 고막 상태에 대한 종합적인 평가가 부족했다고 할 수 있겠다. 또한 감각신경성 난청과 청신경병증의 유병률에 비해 비교적 적은 수의 대상으로 분석을 하여 다양한 형태의 난청 양상을 확인하는 데 제한이 있었다.

와우 음전기 전위검사는 와우 외유모세포의 생리에 기초하여 청력을 평가하는 객관적 검사로 소음이나 중이상태에 영향을 받는 이음향방사의 단점을 극복할 수 있다. 또한 표면전극을 사용한다면 청성뇌간반응검사와 동시에 시행이 가능하여 간편한 방법으로 외유모세포의 기능을 확인할 수 있어 청신경병증을 비롯한 다양한 원인의 난청 진단에 도움을 줄 수 있을 것이다.

REFERENCES

- 1) Soh UK, Na BJ. A study on usefulness of newborn hearing screening test for some high risk neonate. *Korean J Audiol* 2009;13:24-30.
- 2) Harrison M, Roush J. Age of suspicion, identification, and intervention for infants and young children with hearing loss: a national study. *Ear Hear* 1996;17(1):55-62.
- 3) Seo JH, Park SN, Lee JH, Park KH, Kim DG, Kim CS, et al. Hearing tests in high risk infants: analysis on risk factors and follow up results of impaired hearing infants. *Korean J Audiol* 2010;14(1): 21-6.
- 4) The Korean Otologic Society, The Korean Audiological Society. Korean clinical practice guideline: newborn hearing screening 2010. Seoul, Korea: ML communication;2010.
- 5) Choi JS, Kim KS. Electrophysiologic tests for diagnosis of Meniere's disease: electrocochleography and cochlear hydrops analysis masking procedure. *Res Vestib Sci* 2010;9(3):85-92.
- 6) Ahmmed A, Brockbank C, Adshead J. Cochlear microphonics in sensorineural hearing loss: lesson from newborn hearing screening. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2008;72(8):1281-5.
- 7) Shi W, Ji F, Lan L, Liang SC, Ding HN, Wang H, et al. Characteristics of cochlear microphonics in infants and young children with auditory neuropathy. *Acta Otolaryngol* 2012;132(2):188-96.
- 8) Lightfoot G. Newborn hearing screening and assessment: guidelines for cochlear microphonic testing. London: NHSP Clinical Group;2011.
- 9) Chang SO. Otoacoustic emissions. In: The Korean Audiological

Society, editor. Practical manual of hearing tests. Seoul, Korea: Hakjisa;2008. p.227-45.

- 10) Shin SO. Auditory evoked potential II: auditory brainstem response. In: The Korean Audiological Society, editor. Practical manual of hearing tests. Seoul, Korea: Hakjisa;2008. p.143-70.
- 11) Starr A, Picton TW, Sininger Y, Hood LJ, Berlin CI. Auditory neuropathy. *Brain* 1996;119(Pt 3):741-53.
- 12) Roush P, Frymark T, Venediktov R, Wang B. Audiologic management of auditory neuropathy spectrum disorder in children: a systematic review of the literature. *Am J Audiol* 2011;20(2):159-70.
- 13) Starr A, Sininger Y, Nguyen T, Michalewski HJ, Oba S, Abdala C. Cochlear receptor (microphonic and summing potentials, otoacoustic emissions) and auditory pathway (auditory brain stem potentials) activity in auditory neuropathy. *Ear Hear* 2001;22(2):91-9.
- 14) Deltenre P, Mansbach AL, Bozet C, Christiaens F, Barthelemy P, Paulissen D, et al. Auditory neuropathy with preserved cochlear microphonics and secondary loss of otoacoustic emissions. *Audiology* 1999;38(4):187-95.
- 15) Gibson WP. The use of electrocochleography in the diagnosis of Menière's disease. *Acta Otolaryngol Suppl* 1991;485:46-52.
- 16) Levine SC, Margolis RH, Fournier EM, Winzenburg SM. Tympanic electrocochleography for evaluation of endolymphatic hydrops. *Laryngoscope* 1992;102(6):614-22.
- 17) Wilson WJ, Sharp KJ, Hansen C, Kwong P, Kelly A. Especially prominent cochlear microphonic activity in the auditory brainstem response. *Int J Audiol* 2007;46(7):362-73.
- 18) Poch-Broto J, Carricondo F, Bhathal B, Iglesias MC, López-Moya J, Rodríguez F, et al. Cochlear microphonic audiometry: a new hearing test for objective diagnosis of deafness. *Acta Otolaryngol* 2009;129(7):749-54.
- 19) Lonsbury-Martin BL, Martin GK, McCoy MJ, Whitehead ML. Otoacoustic emission testing in young children: middle-ear influences. *Am J Otol* 1994;15(Suppl 1):13-20.
- 20) Park HJ, Goh EK, Lee HS, Jang HJ, Baek MJ, Yoon JK, et al. Influence of middle ear conditions on measurement of evoked otoacoustic emissions. *Korean J Otolaryngol* 2001;44(3):251-5.