

Newborn Hearing Loss and Newborn Hearing Screening

Su-Kyoung Park

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Kangnam Sacred Heart Hospital, Hallym University College of Medicine, Seoul, Korea

The incidence of bilateral profound hearing loss of newborns is 1 to 2 per 1,000 newborns. It is higher in infants with risk factors for hearing loss. Congenital hearing loss can cause many problems in language, learning, speech development and educational and occupational performance. Most developed countries have conducted the Universal Newborn Hearing Screening (UNHS) with automated otoacoustic emissions (AOAE) or automated auditory brainstem response (AABR). UNHS reduced the average age of identification of permanent hearing loss in infants 6 months or less after birth. This early identification and intervention of hearing loss with amplification and speech therapy optimizes communication during the early critical period of language acquisition and can improve language outcomes in children between 2 and 5 years of age. The aims of this paper are to explain the incidence of newborn hearing loss, the importance of early detection of hearing loss and intervention and newborn hearing screening methods.

Key Words: Hearing Loss; Infant, Newborn; Neonatal Screening; Transient Evoked otoacoustic Emissions; Evoked Potentials, Auditory, Brain Stem

Correspondence to: Su-Kyoung Park
우150-950, 서울시 영등포구 신길로 1,
한림대학교 강남성심병원 이비인후과
Department of Otorhinolaryngology-Head
and Neck Surgery, Kangnam Sacred Heart
Hospital, Hallym University College of
Medicine, 1 Singil-ro, Yeongdeungpo-gu,
Seoul 150-950, Korea
Tel: +82-2-829-5217
Fax: +82-2-842-5217
E-mail: ashock@daum.net

Received 9 March 2015
Revised 20 March 2015
Accepted 27 March 2015

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

양측 중등도 이상의 선천성 난청은 신생아 1,000명당 3-5명, 고도 난청은 신생아 1,000명당 1-2명에서 발생하며 이는 국내 모든 신생아들이 국가 지원하에 실시하는 선천성 대사이상 질환보다 높은 발생률을 가지고 있다[1-4]. 유소아의 정상적인 언어적인 발달을 위해서는 소리 자극이 중요하데, 난청으로 인해 뇌에 소리 자극이 전달되지 않으면 정상적인 언어습득이 이루어지지 않아 언어장애를 초래할 뿐만 아니라 행동장애와 학습장애로 정상적인 사회생활과 직장생활이 어렵다[4,5]. 선진국에서는 난청을 가진 유소아들이 정상적인 언어발달을 할 수 있도록 모든 신생아를 대상으로 신생아청각선별검사를 시행하고 있으며, 2008년 미국예방보건당국(US Preventive Services Task Force)에서는 신생아청각선별검사를 모든 신생아를 대상으로 반드시 시행해야 할 선별검사인 'Grade B'로

권고하고 있다[6,7]. 미국영유아청각협회(Joint Committee on Infant Hearing, JCIH)에서는 생후 1개월 이내 신생아청각선별검사를 시행하고, 선별검사에서 어느 한쪽 귀라도 재검(refer) 판정을 받은 경우 생후 3개월 이내 난청 확진을 위한 정밀청력검사를 시행하고, 최종 난청을 진단받은 경우 생후 6개월 이내 보청기 등의 청각 재활치료를 시행하도록 하는 "1-3-6 원칙"을 제시하고 있다[3]. 국내의 신생아청각선별검사는 2000년대 초에 분만산부인과를 중심으로 도입되었으며 2003년도부터는 대한청각학회 주도로 정착을 위해 다양한 활동이 시행되었다. 보건복지부에서는 2007년과 2008년에 지역별 신생아난청 조기진단 시범사업을 시행하고 현재까지 저소득층을 중심으로 신생아 청각선별검사와 난청확진검사를 지원하고 있으나 아직 전 신생아를 대상으로 하지 않으며 또한 추적 관리 시스템은 없는 실정이다.

신생아 난청의 조기진단이 언어발달에 미치는 영향

유소아가 성장하면서 언어를 효과적으로 배울 수 있는 민감한 시기가 있다. 이 시기에 소리 자극이 뇌에 전달되면 뇌의 형태학적, 기능적 발달을 일으켜서 언어청각이 정상적으로 발달하게 되는데 이를 뇌의 가소성(plasticity)이라고 한다. 이 시기가 지나면 뇌의 가소성이 감소하여 언어와 청각재활치료를 하여도 언어발달의 한계를 초래한다[8]. 난청의 발견 시기와 언어 발달과의 관계를 연구한 논문들을 분석한 2012년 문헌에서는 정상적인 언어발달을 위해서는 생후 6개월에서 9개월 이전에 난청을 발견하여 청각재활치료를 시작하는 것이 좋으며 난청의 조기 진단 후 조기 재활의 효과를 볼 수 있는 최대 연령이 생후 1세 이전이었다[9]. 난청의 조기 진단과 조기 재활의 중요성에 대해 임상 자료를 제시한 중요한 전향적 연구가 미국 콜로라도 대학의 Yoshinaga-Itano의 연구진에 의해 보고되었다. 난청 발견 후 2개월 이내 청각 재활 치료를 시작한 청각장애 150명을 대상으로 청각장애의 발견 시점을 생후 6개월을 기준으로 언어발달을 비교한 연구에서, 생후 6개월 이전에 난청이 발견된 유소아들의 언어발달 지수는 그 이후에 발견된 소아들에 비해 의미 있게 우수하였다. 이는 효과적인 청각 발달과 재활을 위해서는 초기 영아기에 난청이 진단되고 늦어도 생후 6개월 이전에 청각장애 치료가 시작되어야 한다는 중요한 전향적인 연구이다[4].

모든 신생아들이 청각선별검사를 받아야 하는 근거

신생아청각선별검사는 초기에는 난청위험요소를 가진 난청 고위험군에서만 시행되었으나, 난청을 진단받은 영유아 중 난청위험요소를 가진 경우는 약 50% 정도에 불과하며, 나머지 50%는 위험요소가 없는 영유아에게서 발생하였다는 사실이 밝혀지면서 현재 대부분의 선진국에서는 모든 신생아를 대상으로 신생아청각선별검사를 실시하게 되었다[3,6].

신생아청각선별검사

1. 신생아청각선별검사의 종류와 특징

신생아청각선별검사는 자동이음향방사검사(automated otoacoustic emissions, AOA)와 자동청성뇌간유발반응검사(automated auditory brainstem response, AABR)가 있으며, 두 가지 검사를 모두 한 기기에서 시행할 수 있는 기기들도 상품화되어 있다. 자동청각선별검사는 기기 자체의 알고리즘에 의하여 통과(pass) 또는 재검을 판별하도록 되어 있기 때문에 청각사가 아닌 일반인들도 간단한 훈련에 의해 판독에 큰 어려움이 없고 검사 방법이 간단하여 쉽게 시행할 수 있다. 청각선별검사는 선진국에서는 1990년도부터 도입되어 신생아 난청의 조기진단을 위해 이용하고 있으며, 국

내에는 2000년대부터 도입되었다[10-12]. 자동이음향방사검사의 민감도는 50-100%, 특이도는 13-91%까지 보고되고 있으며, 자동청성뇌간반응검사의 민감도는 96%, 특이도는 98%로 자동청성뇌간반응검사의 민감도와 특이도가 더 높다[13]. 자동청성뇌간반응검사는 임신 34주에서 생후 6개월 정상 청력 뇌파가 기기에 월형(template)으로 저장되어 있어 연령 제한이 있는 반면, 자동이음향방사검사는 연령의 제한이 없다. 검사비는 일반적으로 인정 비급여로 국내에서 시행되고 있으며 자동청성뇌간반응검사가 자동이음향방사검사에 비해 2배 이상 검사비가 높다. 신생아가 자연 수면을 하는 동안 검사가 시행되며 자동청성뇌간반응검사는 이어폰 모양의 ear tip과 양측 유양동과 이마에 붙이는 전극을 추가로 장치하고 양측 양측 검사에 약 20분이 소요되며, 자동이음향방사검사의 경우 ear tip만 필요하고 약 10분 정도 검사시간이 소요된다. 1회 선별검사 시 재검률(referral rate)은 자동청성뇌간반응검사가 4% 내외, 자동이음향방사검사가 7-8% 정도이다. 자동청성뇌간반응검사의 경우 달팽이관의 이상 또는 청각신경의 병변에 이상이 있는 경우 재검으로 판정하며, 중이의 영향을 적게 받으나 주변 소음과 전극의 상태에 영향을 받는 단점이 있다. 자동이음향방사검사의 경우 전극 등의 소모품이 없고, 검사비가 저렴하고 검사시간도 짧게 걸리는 장점이 있으나 달팽이관까지의 이상만 측정이 가능하고 청각신경의 이상을 판정할 수 없어 중환자실 신생아의 뇌 손상으로 인한 청각신경병증(auditory neuropathy) 등의 청각신경 이상을 발견할 수 없는 단점이 있다. 이로 인해 신생아중환자실의 신생아들은 자동청성뇌간반응검사를 이용하여 청각선별검사를 시행하여야 한다[2,3]. 두 신생아청각선별검사에 대한 장단점을 표로 정리하였다 (Table 1).

2. 신생아청각선별검사의 시기와 결과

청각선별검사는 생후 1개월 전(미숙아 또는 중환자실 신생아의 경우 본래 예정일을 기준으로 하여 태생 34주에서 생후 1개월 전)에 시행한다. 조용한 환경에서 시행하는 것이 좋으며 자동청성뇌간반응의 경우 자연수면 중에 검사를 시행하도록 하고, 자동이음향방사검사의 경우 아기가 깨어 있어도 울지 않으면 검사가 가능하다. 출생 직후에는 외이도에 태지나 중이내 삼출액이 있어 선별검사에서 위양성을 보일 수 있으므로 이를 방지하기 위해 적어도 생후 12시간은 지난 후에 검사를 시행하는 것이 바람직하다[3,13,14].

신생아청각선별검사의 결과

1. 통과(pass)

아기의 양측 귀에서 모두 통과 결과가 나온 경우 검사 당시 신생아가 정상 청력을 가지고 있음을 의미한다.

Table 1. Characteristics of newborn hearing screening system

	Automated auditory brainstem response	Automated otoacoustic emissions
Screening result	Pass or refer	Pass or refer
Sensitivity	96%	50-100%
Specificity	98%	13-91%
Age for test	34 weeks gestation-6 months after birth	All age
Cost	High	Low
Time for test	About 20 minutes	About 10 minutes
Referral rate	7-8%	4%
Lesion side	Retrocochlear lesion	Cochlear lesion
Result of auditory neuropathy	Refer	Pass (False negative result)
Proper subject for test	Well baby or Intensive care unit baby	Well baby

2. 재검(refer)

어느 한 귀라도 재검 결과가 나온 경우 다시 한번 청각선별검사를 받거나 정밀청력검사를 받아야 한다. 즉, 검사 시점에서 결과가 불분명하기 때문에 재선별검사나 정밀청력검사를 시행한다고 보호자에게 설명하며, 첫 번째 청각선별검사에서 재검 결과가 나왔다고 하여 난청이 있음을 의미하지 않기 때문에 아이가 난청이라고 보호자에게 설명하지 않도록 주의한다.

3. 청각선별검사의 한계

간혹 난청이 있어도 청각선별검사서 통과로 나타날 수 있다. 저주파 수나 고주파 수에 국한하여 난청이 있는 경우, 중간주파수 난청(0.5-2 kHz)이 있는 아기에게 자동청성뇌간반응으로 검사한 경우, 전정도수관확장증이나 중이염의 경우처럼 변동형의 난청을 보이는 경우, 청각신경병증이나 거대세포바이러스 감염 등의 진행성 난청인 경우, 선별검사를 반복하여 여러 번 시행한 경우에 위음성이 나타날 수 있으므로 주의해야 한다. 실제 청력은 정상이나 재검 결과가 나올 수 있는 경우로는 소음이 있는 곳에서 자동이음향방사로 검사하는 경우, 출생 직후 외이도에 태지나 삼출물이 있는 상태에서 검사를 시행한 경우이다[3].

신생아청각선별검사 프로토콜

국내 신생아청각선별검사 임상진료지침은 2010년 대한이과학회와 대한청각학회 주관하에 제작되었으며 청각선별검사 프로토콜은 신생아가 출생 후 입원기간 동안 실시되는 건강 신생아 프로토콜과 신생아중환자실 프로토콜, 퇴원 후 외래에서 실시하는 프로토콜이 있다[10].

Well baby Newborn hearing screening protocol

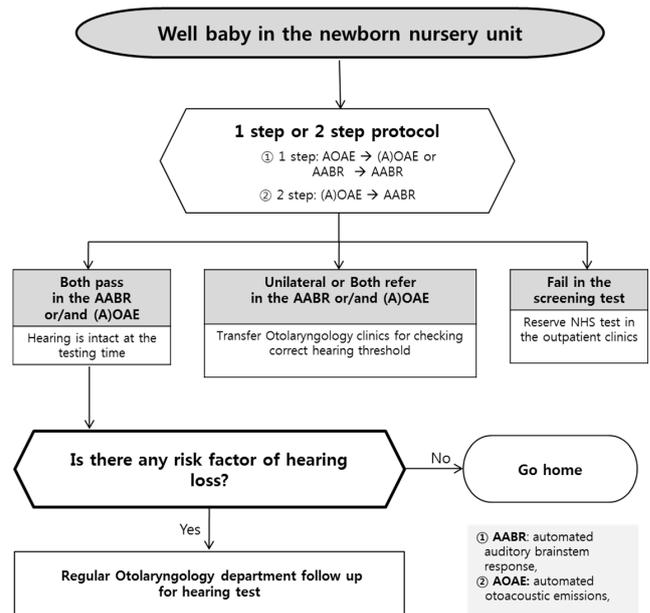


Fig. 1. Well baby newborn hearing screening protocol of newborn nursery unit.

1. 건강 신생아 프로토콜

정상 분만으로 출생한 건강한 신생아나 신생아중환자실에서 4 일 미만 입원하고 신생아실에 옮겨져 퇴원 예정인 신생아에게 실시하는 프로토콜이다. 자동청성뇌간반응 또는 자동이음향방사검사를 1단계 검사로 시행한다. 두 번의 청각선별검사를 시행하는 2단계 프로토콜을 이용할 수도 있으며, 이때에는 1단계 검사로 자동이음향방사를 초기 선별검사로 시행하고 재검 판정을 받은 경우 2단계로 자동청성뇌간반응검사를 시행한다. 청각신경병증 등의 이상을 놓칠 수 있기 때문에 청성뇌간반응검사 후 청성이음향검사를 시행하지 않는다(Fig. 1)[10]. 또한 같은 검사방법으로 3번 이상 검사를 반복하지 않는다. 이는 검사를 반복함에 따라 우연히 통과가 나와 위음성을 초래하는 것을 막기 위함이다. 일반적으로 2단계 프로토콜로 청각선별검사를 시행할 경우 재검률을 1-2% 정도 줄일 수 있다[15-18]. 양측 모두 통과로 판정된 경우라도 난청 고위험군에 해당할 경우 초등학교에 입학하기 전까지 6개월-1년마다 정밀청력검사를 실시한다[10].

2. 신생아중환자실 프로토콜

중환자실 신생아의 연령은 항상 교정연령을 기준으로 하며 가능한 교정연령 1개월 이내에 검사를 시행한다. 또한 중환자실 치료가 모두 끝나고 전신상태가 양호할 때 시행하며 퇴원 하루 또는 이틀 전에 시행하는 것이 바람직하다. 교정연령이 재태 34주 이내인 경우는 기다렸다가 선별검사를 재태 34주 이후가 될 때 청각선별검

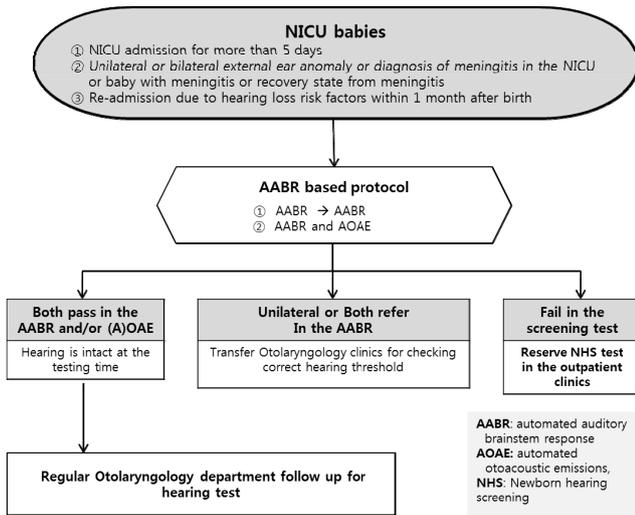


Fig. 2. Neonatal intensive care unit (NICU) newborn hearing screening protocol.

사를 시행한다. 대상으로는 신생아집중치료실 또는 신생아중환자실에서 5일 이상 입원하여 치료를 받은 신생아, 중환자실 신생아 중 명백한 일측성 혹은 양측성 외이기관이 있는 신생아 또는 뇌막염으로 확진 되었거나 뇌막염 의증을 앓고 난 후 회복된 신생아, 이전 청각선별검사에서 ‘통과’로 판정받은 건강신생아가 뇌막염을 앓게 되어 신생아중환자실에 재입원하게 된 경우, 선별검사에서 ‘통과’로 판정받아 퇴원하고 출생 4주 이내에 교환수혈이 필요할 정도의 고빌리루빈혈증이나 세균이 배양된 패혈증 등 난청의 위험이 있는 질병을 앓게 되어 병원에 재입원하게 된 경우이다. 신생아중환자실 신생아는 자동청성뇌간반응검사를 우선적으로 실시한다. 간혹 자동청성뇌간반응과 자동이음향방사검사를 동시에 시행할 수 있으나 검사 결과는 청성뇌간반응검사에 기준하여 판정하고 자동이음향방사검사는 참고로 한다(Fig. 2)[10]. 중환자실에 5일 이상 입원한 신생아는 청각선별검사에서 양쪽 귀에서 두 가지 검사 모두 이상이 없어도 학령 전까지 매 6개월 또는 1년마다 정기적인 청각 검진을 위해 이비인후과로 의뢰하는 것이 권장된다. 이는 선별검사로 진단하지 못하는 정도의 난청이나 특정주파수 대역의 난청, 지연성 난청(delayed hearing loss), 진행성 난청(progressive hearing loss) 또는 후천성 난청 등을 염두에 두고 학령 전까지 매 6개월 또는 1년마다 언어발달사항, 고막진찰, 정밀청력검사(만 3세 이전에는 청성뇌간반응검사를, 만3세 이후에는 순음청력검사를 우선으로 실시) 등을 시행하기 위함이다[13]. 두 가지 검사 중 어느 한 쪽 귀에서 한 가지 검사라도 ‘재검’이 나온 경우에는 바로 이비인후과로 의뢰하여 정밀청력검사를 받도록 한다.

3. 외래에서의 신생아청각선별검사 프로토콜

신생아가 입원 중 청각선별검사를 시행하지 못하였거나, 1차 청

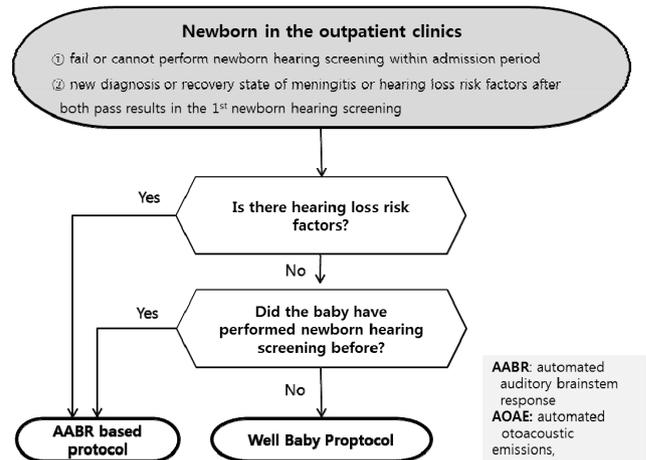


Fig. 3. Newborn hearing screening protocol in the outpatient clinics.

각선별검사 후 하나의 측 또는 양측에서 ‘재검’으로 판정받거나, 이전에 청각선별검사에서 ‘통과’ 판정하였으나 난청위험요소에 새로이 해당하게 되어 이비인후과 외래로 방문한 경우에 해당하는 프로토콜이다. 내원한 신생아가 정상 분만 신생아 또는 신생아중환자실에 4일 이하로 입원한 신생아이면서 선별검사를 시행하지 못한 경우는 ‘건강 신생아 프로토콜’을, 신생아중환자실에 5일 이상 입원한 신생아인 경우 ‘신생아중환자실 프로토콜’에 준하여 실시한다(Fig. 3)[10]. 이전에 1단계로 청각선별검사를 시행한 경우 자동청성뇌간반응으로 다시 청각선별검사를 시행하거나, 청성뇌간반응 역직검사를 비롯한 정밀청력검사를 고려한다[19].

4. 난청 고위험군

미국에서는 신생아 난청의 조기발견을 위하여 1969년 영유아청각협회(JCIH)를 설립하고 1973년 초기 청각검사가 필요한 난청 고위험군을 정의하였고, 또한 영유아청각협회 지침을 1982, 1990, 1994, 2000, 2007에 걸쳐 고위험군의 내용을 보강하였다. 2007년 지침에서 제시한 고위험군은 유전성 소아난청의 가족력, 5일 이상 신생아 집중치료를 받거나, 5일 이내라도 체외막형 산소섭취나 인공호흡기를 사용한 경우, 이노제 또는 이독성 약제 사용 등이 있다(Table 2) [3]. 난청위험요소를 가진 유소아에서 지연성 난청의 발생률은 위험요소가 없는 유소아에 비해 10배 이상(중환자실 입원아 100명당 1-2명 정도)임이 보고되고 있으며 이러한 지연성 또는 진행성 난청의 발생은 위험요소의 폭로 시기와 무관하게 발생한다[6]. 고위험군의 지연성 난청을 발견하기 위해 미국에서는 생후 3년까지 적어도 1회의 청성뇌간반응을 실시하나, 해당 환자의 개별적인 언어발달과 고위험요소의 임상양상을 고려하여 전문의의 판단에 의해 추가적인 정밀청력검사를 시행할 수 있도록 하였다[3]. 영국에서는 국가적으로 신생아청각선별검사를 관리하고 있으며, 병원기반의 형식과 지역사회 방문간호 형식을 통해 관리하고 있다. 영국의 고위

Table 2. Risk factors associated with permanent hearing loss in childhood

Family history of permanent childhood hearing loss
Neonatal intensive care of more than 5 days
Syndrome known to include a sensorineural or conductive hearing loss or Eustachian tube dysfunction
Exposure to ototoxic medications such as gentamycin and tobramycin or loop diuretics (furosemide)
Craniofacial anomalies, including those that involve pinna, ear canal, ear tags, ear pits, and temporal bone anomalies
Culture-positive postnatal infections associated with sensorineural hearing loss including bacterial or viral meningitis (especially herpes viruses and varicella)
In utero infections such as cytomegalovirus, herpes, rubella, syphilis, and toxoplasmosis
Hyperbilirubinemia at a serum level requiring exchange transfusion
Persistent pulmonary hypertension of newborn associated with mechanical ventilation, and Conditions requiring the use of extracorporeal membrane oxygenation
Syndromes associated with progressive or late-onset hearing loss such as neurofibromatosis, osteopetrosis, and Usher syndrome
Neurodegenerative disorders, such as Hunter syndrome, or sensory motor neuropathies, such as Friedreich's ataxia and Charcot-Marie-Tooth disease
Head trauma, especially basal skull or temporal bone fracture that requires hospitalization
Chemotherapy
Recurrent or persistent otitis media with effusion for at least 3 months

험군의 대상은 미국의 고위험군과 거의 동일하며 고위험군의 경우 생후 7-12개월에 행동반응청력검사를 시행하도록 하고 있으며, 영유아 시기의 건강검진을 통해 지속적인 관리가 이루어지고 있다 [20]. 중환자실에 입원 중 실시한 신생아청각선별검사에서 '통과' 판정을 받은 고위험군 신생아 111명 중 14명(12.5%)에서 지연성 난청이 발생되어 위험요소에 노출된 시기와 난청 발생 시기는 통계적으로 연관성이 없었다. 따라서 저자들은 고위험군 신생아들이 생후 12개월, 18개월, 30개월, 42개월에 정기적인 청력검사를 실시하도록 권고하고 있다[21].

결론

신생아 난청은 국내 전 신생아를 대상으로 하는 대사이상 질환보다 더 흔한 발생률을 가지고 있음에도 불구하고 아직 모든 신생아들이 청각선별검사를 받지 못하고 있는 실정이다. 또한 민감도와 특이도가 높은 선별검사 방법을 가지고 있어, 이미 대부분의 선진국에서는 모든 신생아들이 청각선별검사를 받고 있다. 신생아 청각 선별검사와 프로토콜을 올바르게 이해하여 보다 많은 신생아들이 검사를 받도록 함으로써, 난청을 조기에 발견하여 청각장애를 극복하고 정상적인 언어발달을 도모할 수 있도록 해야 할 것이다.

REFERENCES

1. Thompson DC, McPhillips H, Davis RL, Lieu TL, Homer CJ, Helfand M. Universal newborn hearing screening: summary of evidence. *JAMA* 2001; 286:2000-10.
2. Norton SJ, Gorga MP, Widen JE, Folsom RC, Sininger Y, Cone-Wesson B, et al. Identification of neonatal hearing impairment: evaluation of transient evoked otoacoustic emission, distortion product otoacoustic emission, and auditory brain stem response test performance. *Ear Hear* 2000; 21:508-28.
3. 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;120:898-921.
4. Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Coulter DK, Mehl AL. Language of early- and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics* 1998;102:1161-71.
5. Yoshinaga-Itano C, Gravel JS. The evidence for universal newborn hearing screening. *Am J Audiol* 2001;10:62-4.
6. Universal screening for hearing loss in newborns: US Preventive Services Task Force recommendation statement. *Pediatrics* 2008;122:143-8.
7. Nelson HD, Bougatsos C, Nygren P. Universal newborn hearing screening: systematic review to update the 2001 US Preventive Services Task Force Recommendation. *Pediatrics* 2008;122:e266-76.
8. Yoshinaga-Itano C. Levels of evidence: universal newborn hearing screening (UNHS) and early hearing detection and intervention systems (EHDI). *J Commun Disord* 2004;37:451-65.
9. Pimperton H, Kennedy CR. The impact of early identification of permanent childhood hearing impairment on speech and language outcomes. *Arch Dis Child* 2012;97:648-53.
10. The Korean Audiological Society and the Korean Otologic Society. Korean Clinical Practice Guideline: newborn Hearing Screening 2010. Seoul: ML Communications; 2011:1-80.
11. Watkin PM. Outcomes of neonatal screening for hearing loss by otoacoustic emission. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1996;75:F158-68.
12. Mason JA, Herrmann KR. Universal infant hearing screening by automated auditory brainstem response measurement. *Pediatrics* 1998;101:221-8.
13. Oh SH. Newborn hearing screening. In *The Korean Audiological Society, ed. Practical manual of hearing tests*. 1st ed; 2008:247-68.
14. Finitzo T, Albright K, O'Neal J. The newborn with hearing loss: detection in the nursery. *Pediatrics* 1998;102:1452-60.
15. Johnson JL, White KR, Widen JE, Gravel JS, James M, Kennalley T, et al. A multicenter evaluation of how many infants with permanent hearing loss pass a two-stage otoacoustic emissions/automated auditory brainstem response newborn hearing screening protocol. *Pediatrics* 2005;116:663-72.
16. Norton SJ, Gorga MP, Widen JE, Folsom RC, Sininger Y, Cone-Wesson B, et al. Identification of neonatal hearing impairment: a multicenter investigation. *Ear Hear* 2000;21:348-56.
17. White KR, Vohr BR, Meyer S, Widen JE, Johnson JL, Gravel JS, et al. A multisite study to examine the efficacy of the otoacoustic emission/auto-

- mated auditory brainstem response newborn hearing screening protocol: research design and results of the study. *Am J Audiol* 2005;14:S186-99.
18. Widen JE, Johnson JL, White KR, Gravel JS, Vohr BR, James M, et al. A multisite study to examine the efficacy of the otoacoustic emission/automated auditory brainstem response newborn hearing screening protocol: results of visual reinforcement audiometry. *Am J Audiol* 2005;14:S200-16.
19. Gravel JS, White KR, Johnson JL, Widen JE, Vohr BR, James M, et al. A multisite study to examine the efficacy of the otoacoustic emission/automated auditory brainstem response newborn hearing screening protocol: recommendations for policy, practice, and research. *Am J Audiol* 2005;14:S217-28.
20. UK Screening Portal [Internet]. UK: UK National Screening Committee; c2015 [cited 2015 April 10]. Available from: <http://www.screening.nhs.uk/about/>.
21. Fligor BJ, Neault MW, Mullen CH, Feldman HA, Jones DT. Factors associated with sensorineural hearing loss among survivors of extracorporeal membrane oxygenation therapy. *Pediatrics* 2005;115:1519-28.