

만삭아에서의 저산소-허혈성 뇌증 : 기저핵과 시상의 뇌초음파 소견과 예후와의 연관성

연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실, 방사선의과학연구소, 소아과학교실*

윤춘식 · 권우철 · 김명준 · 이광훈 · 박국인* · 박민수* · 이준수*

= Abstract =

Hypoxic-ischemic Encephalopathy in Term Infants : Correlation of Neurosonographic Findings in Basal Ganglia and Thalamus with Prognosis

Choon-Sik Yoon, M.D., Woo-Cheol Kwon, M.D., Myung Joon Kim, M.D.
Kwang-Hun Lee, M.D., Kook-In Park, M.D.*
Min Soo Park, M.D.* and Joon Soo Lee, M.D.*

Department of Diagnostic Radiology and Pediatrics*, College of Medicine, Yonsei University
Research Institute of Radiological Science, Seoul, Korea

Purpose : To evaluate abnormal neurosonographic (NSG) findings of thalamus and basal ganglia in full term babies with hypoxic-ischemic encephalopathy and to correlate the findings with follow-up studies and prognosis.

Methods : We evaluated 13 full term babies with abnormal NSG findings of thalamus and basal ganglia. NSG was performed within 7 days after clinical abnormalities. Follow-up NSG was done in 11 cases; CT scan in 4 and MRI in 7. We classified NSG findings as diffuse, unilateral, and focal types according to increased echogenicity and evaluated prognosis based on follow-up studies and neurological sequelae.

Results : Nine cases of diffuse type had diffuse echogenic changes of bilateral thalamus and basal ganglia, slit-like lateral ventricles suggesting cerebral edema, and increased parenchymal echogenicity. In diffuse type, follow-up studies showed more prominent echogenicities and ventricular dilatations and cerebromalacia. One case of unilateral type caused by thromboembolism had unilateral echogenicity of right thalamus and basal ganglia with increased echogenicity of the ipsilateral cerebral hemisphere and compression of the lateral ventricle, suggesting cerebral infarction. Follow-up study showed unilateral cystic cerebromalacia. Three cases of focal type had a localized echogenic area in thalamus with lacunar infarction, which decreased in size during follow-up. Among nine cases of diffuse type, one died within 2 days, two were discharged against medical advice, and six had severe neurologic sequelae. One case of unilateral type had a moderate degree of neurologic sequelae. All 3 cases of focal type had normal development.

Conclusion : Patterns of abnormal echogenicity in thalamus and basal ganglia in full-term infants with hypoxic-ischemic encephalopathy are correlated with the outcome and may be helpful for treatment planning.

Key Words : Neonate and Infant, Hypoxic-ischemic Encephalopathy, Brain, US, Basal Ganglia, Thalamus

서 론

주산기 저산소허혈성 뇌증은 뇌성마비, 신경장애와 간질의 가장 흔한 원인이다.^{1,2)} 뇌손상의 정도와 범위의 결정이 치료와 예후를 위한 가장 중요한 요소이다. 대뇌 기저핵과 시상은 다른 부위보다 대사 활동이 더 높기 때문에 완전한 순환정지시 선택적인 저산소성 손상을 잘 받는 경향이 있으나, 지속적인 저산소성 조건에서는 손상을 잘 받지 않는다.³⁻⁵⁾

저자들은 저산소허혈성 뇌증의 만삭아들에서 기저핵과 시상의 뇌초음파 소견을 알아보고 그 형태를 분류하여 추적 검사를 통해 방사선학적 소견과 예후와 연관시켜보고자 하였다.

대상 및 방법

저자들은 연세의대 영동세브란스병원에서 1993년 4월부터 1998년 9월까지 기저핵과 시상에 뇌초음파 검사상 이상 소견을 보인 13명의 만삭아들을 후향적으로 분석하였다. 남아가 10명이었고 여아는 3명이었다. 최초의 뇌초음파 검사는 9명이 생후 3일 내에, 4명은 생후 4개월 이내에 시행을 받았다. 뇌초음파 검사는 주산기 가사(4명), 발작(4명), 청색증(2명), 발열(2명), 구토(1명)의 증상으로 모든 환자에서 임상증상이 생긴 7일 이내에 시행받았다. 13명 중 생후 3일째 사망한 1명과 보호자의 원에 의해 자퇴한 1명을 제외한 11명에서 추적 뇌초음파 검사가 가능하였고, 4명에서는 추적 전산화단층촬영을, 7명에서는 추적 자기공명영상 검사를 하였다. 임상적인 추적기간은 3명에서 3-5년, 5명에서 1-3년, 5명에서는 1년 이내였으며 1년 이내의 임상추적 검사를 했던 5명 중 1명은 첫 뇌초음파 검사 후 2일내에 사망한 경우였고 2명은 자퇴하여 더 이상의 추적이 불가능한 경우가 포함되었다.

뇌초음파 검사는 Acuson 128 XP/10 (Mountain View, CA)와 Aloka SSD 650 (Mure, Mitaka, Tokyo)으로 5 MHz 볼록(convex) 및 7 MHz 부채꼴(sector) 탐촉자를 사용하여 대천문을 통해 관상면과 사상면 영상을 얻었다. 전산화단층촬영은 GE 9800 CT/HI- Lite Advantage (Milwaukee, WI, USA)으로 자기공명영상은 1.0T Magnetom 42SP와 1.5T Mag-

netom Vision (Siemens, Erlangen, Germany)으로 검사하였다.

최초의 뇌초음파 검사상 보이는 기저핵과 시상의 고에코 변화를 3가지 형으로 분류하였다. 즉 기저핵과 시상에 고에코가 균일하게 양측성으로 보이는 경우를 미만형, 고에코가 일측성으로 보이는 경우를 일측형, 작은 국소적인 고에코가 시상이나 기저핵 한 쪽에 보이는 경우를 국소형으로 하였다. 또한 기저핵과 시상의 에코 변화와 함께 동반되는 뇌실의 변화나 뇌실질의 변화를 분석하였다.

환아의 예후는 임상적인 추적기간에 소아 신경전문의에 의해 시행된 신경학적 검사로 Finer 등¹⁾이 제안한 5가지의 분류인 (1) 정상, (2) 경현 후유증: 특별한 진단없이 신경학적 또는 발달 검사상 정상에서 벗어난 경우, (3) 중등도 후유증: 교육이 가능한 지체, 심한 행동장애, 열성 발작을 제외한 발작성 이상, 경하거나 중등도의 신경지각 난청, 경직성 하지마비, 편측마비, 또는 시력 장애, (4) 중증 후유증: 경직성 사지마비, 심한 정신운동 지체 또는 심한 신경지각 난청 또는 실명, (5) 사망: 입원 중 또는 추적기간중 사망으로 나누어 분석하였다.

결 과

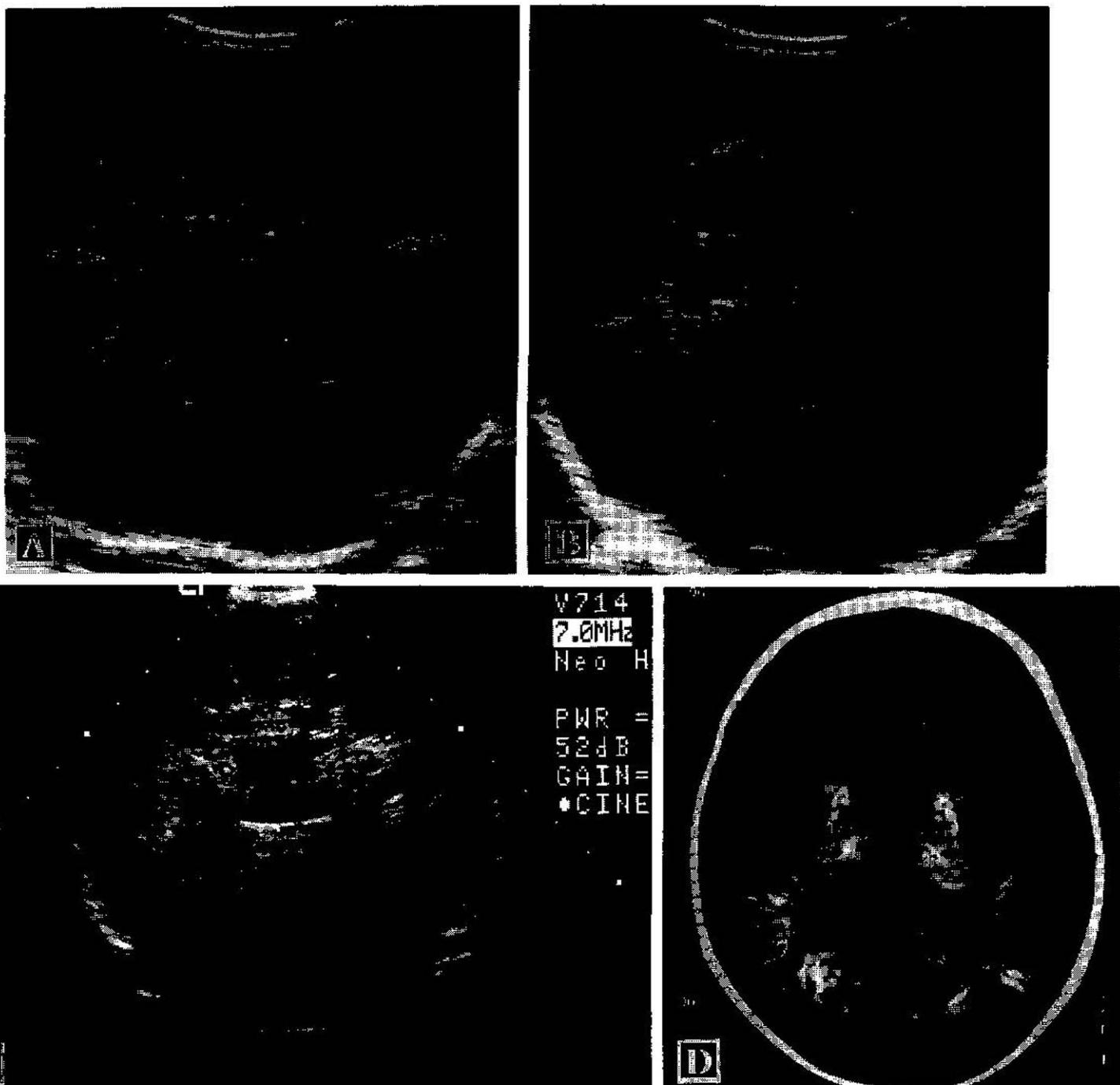
대상 환자들의 임상적, 방사선학적 소견 및 예후를 Table 1에 요약하였다.

미만형은 9명이었고 뇌초음파 검사상 기저핵과 시상의 미만성 고에코 소견뿐만 아니라 뇌부종을 시사하는 세극형 뇌실 모양과 뇌실질 에코의 증가 소견이 동반되어 있었다(Fig. 1A, 1B, 2). 미만형의 추적 검사 소견은 뇌실질 병변으로 인한 뇌실질의 위축으로 인한 뇌실의 확장 및 낭종성 뇌연화증들이 보였다(Fig. 1C, 1D). 일측형은 아마도 ABO 혈액형 부적합로부터 생긴 것으로 보이는 혈전색전증으로 인한 1명이 있었으며 우측 기저핵과 시상의 에코 증가와 같은 쪽 뇌실의 압박 및 뇌실질 에코의 증가 소견이 동반되었다(Fig. 3A). 추적 전산화단층촬영 검사상 경막하 출혈과 동반된 뇌부종과 경색을 나타내는 우측 대뇌반구의 전반적인 음영감소가 우측 기저핵과 시상의 저음영과 함께 보였다(Fig. 3B). 또 5년 후 추적 자기공명영상 검사에서는 우측 대뇌반구에 낭종성 뇌

Table 1. Summary of Clinical, Neurosonographic, and Other Radiologic Findings of Thirteen Cases

Case No.	Sex	Birth weight (g)	Gestational age(weeks)	Chief Complaint (age of onset)	Sonographic Findings (time of examination)	Pattern	Follow-up Findings (modality, duration of follow-up)	Outcome (follow-up age)
1	M	3,100	40	seizure (40 d)	Hyperechoic in both B & T (5 d)	Diffuse	Extensive cerebromalacia, SDH ventriculomegaly (MR, 16 d & 6 m)	Hypotonia, blindness (1 y)
2	M	3,050	40	cyanosis, breathless (4 m)	Hyperechoic in both B & T, brain edema (6 d)	Diffuse	Brain atrophy, ventriculomegaly, cerebromalacic change (CT 3 w)	Comatose mental status (5 m)
3	M	3,550	40	perinatal asphyxia (1 d)	Hyperechoic in both B & T, brain edema (1 d)	Diffuse	Brain atrophy, ventriculomegaly (US, 1 & 7 m)	Psychomotor retardation spastic quadriplegia (22 m)
4	F	3,700	42	fever (1 d)	Hyperechoic in both B & T, brain edema (1 d)	Diffuse	Multicystic cerebromalacia (MR, 4 m)	Seizure, spastic quadriplegia psychomotor retardation (3 y)
5	F	3,000	38	seizure (1 d)	Hyperechoic in both B, brain edema (1 d)	Diffuse	Ventriculomegaly, decreased WM density (US & CT, 2 w)	Severe psychomotor retardation (5 y)
6	F	2,300	40	seizure (80 d)	Hyperechoic in both B & T (1 d)	Diffuse	No follow-up study	Spastic quadriplegia, psycho motor retardation (5 y 10 m)
7	M	3,000	39	perinatal asphyxia (1 d)	Hyperechoic in both B & T, brain edema (1 d)	Diffuse	Increased SI on basal ganglia, thalamus and periolandic cortex at T1WI and decreased SI on T2WI (MR, 2 w)	DAA, stupor mental status, seizure (2 w)
8	M	3,540	38	fever	Hyperechoic in both B & T (1 d)	Diffuse	Brainedema, IVH (MR, 2 w/US, 2 & 3 w)	DAA, respiratory difficulty, seizure (1 m)
9	M	3,610	40	perinatal asphyxia (1 d)	Hyperechoic in both B & T, brain edema (1 d)	Diffuse	No follow-up study	Death (2 d)
10	M	3,400	38	vomiting (40 d)	Hyperechoic in right B & T, hyperechoic in right cerebrum, midline shifting (6 d)	Unilateral	Right cerebral infarct SDH (CT, 9 d)	Left hemiplegia, trainable retardation (5 y 6 m)
11	M	2,400	38	cyanosis (1 d)	Focal homogeneous echogenic area in left T (3 d)	Focal	Left thalamic infarct (CT, 1 w), decreased size of focal echogenic lesion (US, 4 m)	Normal (1 y)
12	M	2,820	40	seizure (1 d)	Focal homogeneous hyperechoic area in right T, 1.5 cm (5 d)	Focal	Right thalamic infarct (CT, 2 d/MR, 3 w) decreased size (0.6 cm)(US, 4 m)	Normal (1 y)
13	M	2,980	38	perinatal asphyxia (1 d)	Focal homogeneous hyperechoic area in left T, 0.8 cm (1 w)	Focal	Focal echo without change (US, 2 & 3 w/MR, 1 m)	Normal (3 m)

d : day, w : week, m : month, y : year, B : basal ganglia, T : thalamus, DAA : discharge against advice, SI : signal intensity, WM : white matter, CT : computed tomography, MR : Magnetic resonance imaging, US : Neurosonography



1. Diffuse hypoxic-ischemic encephalopathy in a 1-day-old female neonate with fever at birth.
(A) and (B) Neurosonography obtained on day 1 shows diffuse increased echogenicity in bilateral thalamus (black arrows) and basal ganglia (large white arrows), and both cerebral hemispheres (small white arrows) with slit-like lateral ventricles. (C) Follow-up neurosonography obtained after 3 months shows multiple septated hypo- and an-echoic areas suggesting cystic encephalomalacic change in both cerebral hemispheres. (D) Axial T1-weighted image obtained after 4 months shows multiple cysts of low signal intensity in the both cerebral hemisphere with ventriculomegaly suggesting cystic cerebromalacia.

증의 소견이 보였다(Fig. 3C). 국소형을 보인 3례 모두 시상의 일부에 국소적인 고에코 부위로 보였(Fig. 4A) 추적 전산화단층촬영에서는 열공 경색 관찰되었고(Fig. 4B) 추적초음파 검사상 2례에 크기가 감소하였다(Fig. 4C).

예신경학적 검사에 따른 예후는 미만형 9례 중 1례의 뇌초음파 검사 2일후에 사망하였고, 2례

는 반복적인 발작과 암상적인 악화로 자외퇴원하여 사망하였고, 나머지 6례도 중증 후유증을 보였고, 일측형 1례는 중등도 후유증을 보였으며, 국소형 3례는 모두 정상적인 발달을 보였다.

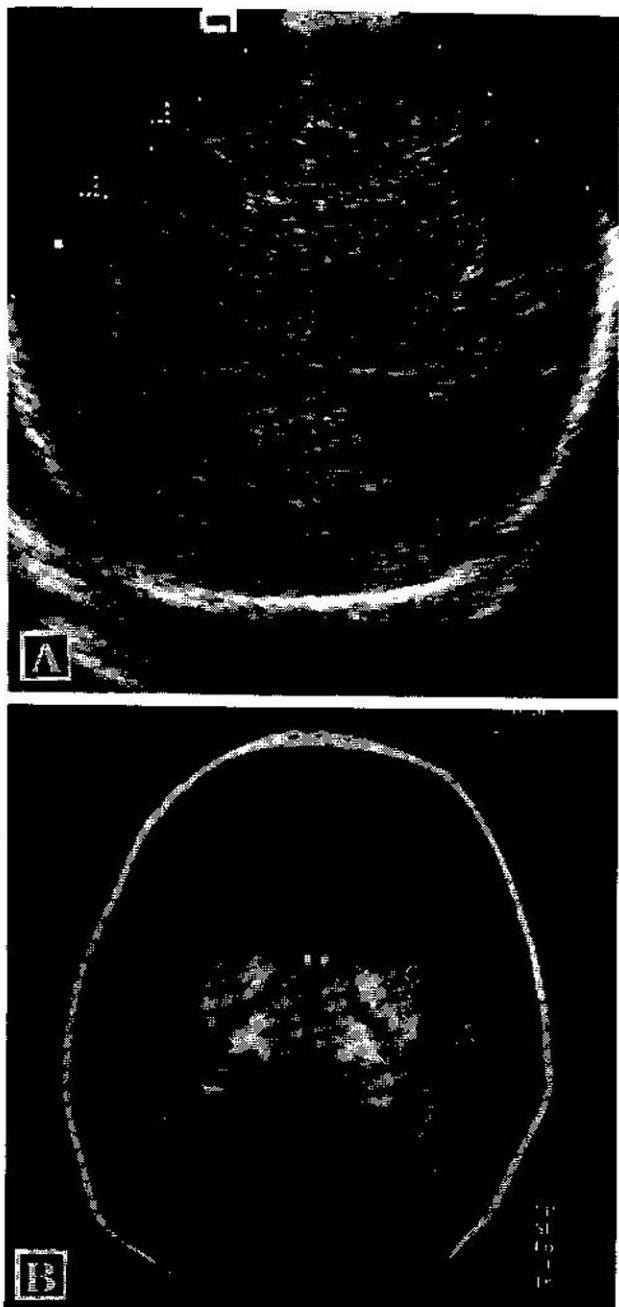


Fig. 2. Diffuse hypoxic-ischemic encephalopathy in a 1-day-old male neonate with perinatal asphyxia at birth. (A) Initial neurosonography shows diffuse increased echogenicity in both basal ganglia and thalamus (long arrows), small lateral ventricles, and relatively normal echogenicity in white matter and cortex. (B) Axial T1-weighted images obtained shortly later show high signal intensity of both basal ganglia and thalamus (short arrows) suggestive ischemic injury with hemorrhage. Abnormal increased signal intensities are also noted at both perirolandic cortex with white matter edema (not shown).

고 찰

신생아 뇌의 평가에 있어 뇌초음파 검사는 전산화

단층촬영보다 더 민감하다.^{6,7)} 이러한 민감도의 장점과 함께 뇌초음파 검사는 보육기 안에서 신생아의 검사가 가능하며 빠른 검사시간, 방사능의 노출이 없는 점과 쉽게 이동이 가능하고 추적검사가 쉬운 여러 장점들이 있다. 신생아의 뇌초음파 검사에서 기저핵과 시상은 정상적으로 중등도의 에코를 보인다.³⁾ 만약 초음파 검사자가 심부회백질인 기저핵과 시상의 에코의 비정상적인 에코변화를 알지 못하면 기저핵과 시상의 에코의 미묘한 증가 소견을 놓칠지도 모른다. 따라서 초음파 검사자는 주의를 하여야 한다. 기저핵과 시상의 에코의 증가는 비특이적이며, 그 원인으로 출혈, 좌상, 석회화와 경색사이의 감별이 어렵지만 추적 뇌초음파 검사, 전산화단층촬영이나 자기공명영상 들이 진단에 도움을 줄 수 있다.^{8,9)} 심한 가사로 인한 손상에서 뇌초음파 검사의 초기 소견들은 뇌부종을 암시하는 세극형 뇌실, 대뇌고랑의 불분명한 경계와 뇌실질의 증가된 에코들이며 부가적으로 뇌혈류의 감소, 시상과 뇌실벽사이의 불규칙한 경계, 또는 대뇌피질이나 뇌실질의 얼룩진 에코 소견들이 보일 수 있고 시간이 지남에 따라 위에 언급한 소견들은 더욱 뚜렷해지고 뇌 위축, 뇌실확장, 작은 낭종들의 발현, 뇌실질의 석회화와 낭종성 뇌연화증이 관찰된다.¹⁰⁻¹⁴⁾ Babcock와 Ball¹²⁾은 기저핵과 중뇌가 주위의 백질과 회백질보다 더 에코가 높았고 이것은 저산소증에 이차적인 기저핵의 혈액순환의 증가로 인한 것일 수 있다고 하였다. 그러나 저자들은 우리의 환자들에서 기저핵과 시상의 에코증가는 허혈성 손상에 이차적으로 출혈을 동반하던지 안하던지 부종에 의한 것으로 생각된다. 우리 예들에서 T1 강조 자기공명영상에서 기저핵, 시상과 대뇌피질에 출혈성 허혈성 손상을 나타내는 고신호강도가 보였고 백질에서는 부종을 나타내는 저신호강도를 보였다. 신경교증이나 뇌위축을 시사하는 T2 이완시간의 증가를 보이는 병변들은 저산소성 뇌손상에서 뚜렷하며 그 침범 부위는 저산소성 뇌손상의 시간에 따라 다르다.¹⁵⁾ 신생아에서 시상 외측부, 렌즈핵 후부, perirolandic cortex에 먼저 침범한다. 우리 연구에서 중례 7 (Fig. 2)의 자기공명영상 검사는 위에서 언급한 소견 이외에 뇌간의 병변도 보여주었다. 유아에서는 미상핵, 렌즈핵과 대뇌피질들이 손상을 받는 반면 시상과 perirolandic cortex는 비교적 보존된다. 저자들은 중례 1에서 경막하 출혈과 동

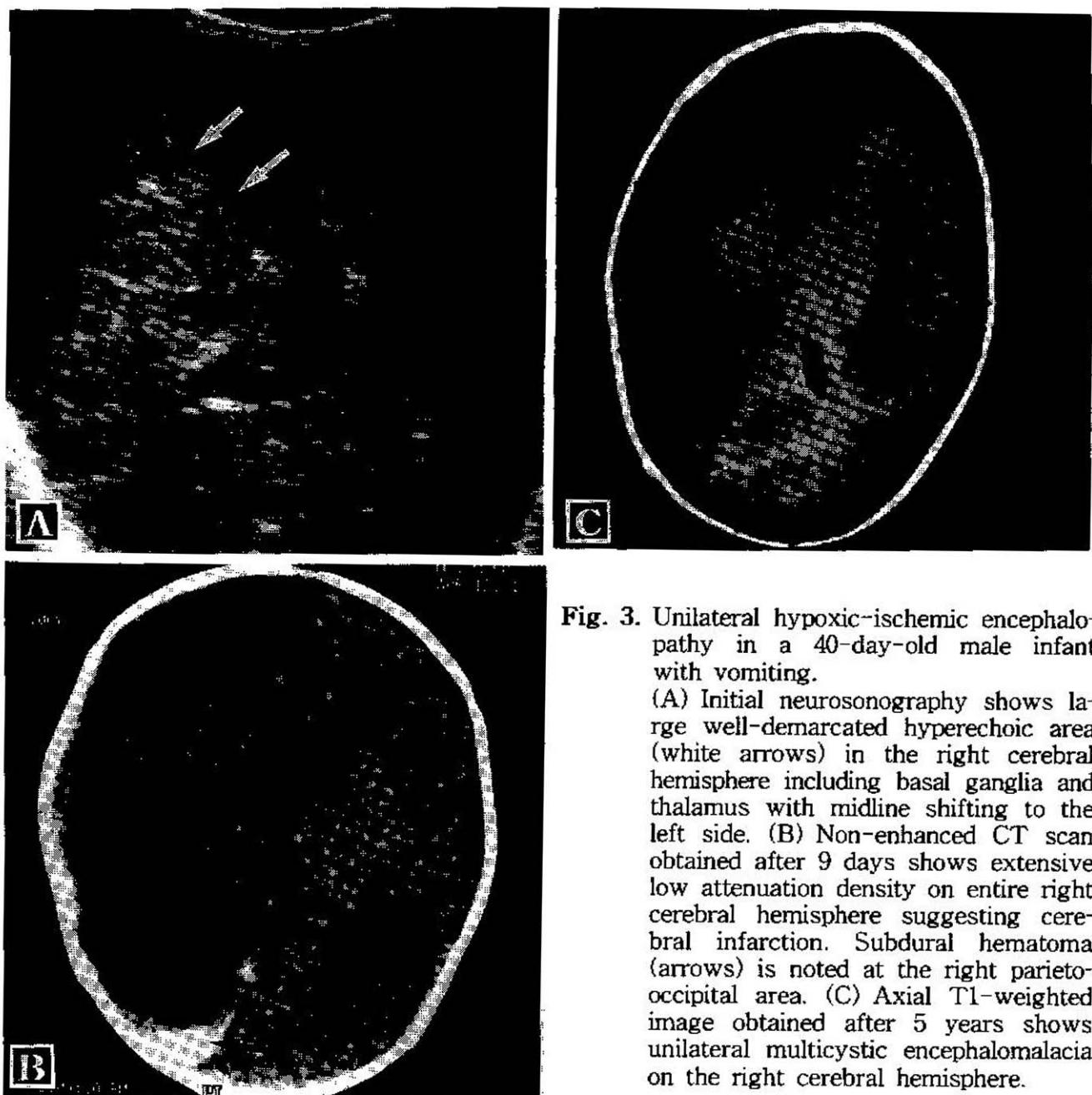


Fig. 3. Unilateral hypoxic-ischemic encephalopathy in a 40-day-old male infant with vomiting.

(A) Initial neurosonography shows large well-demarcated hyperechoic area (white arrows) in the right cerebral hemisphere including basal ganglia and thalamus with midline shifting to the left side. (B) Non-enhanced CT scan obtained after 9 days shows extensive low attenuation density on entire right cerebral hemisphere suggesting cerebral infarction. Subdural hematoma (arrows) is noted at the right parieto-occipital area. (C) Axial T1-weighted image obtained after 5 years shows unilateral multicystic encephalomalacia on the right cerebral hemisphere.

반된 이러한 변화들을 볼 수 있었다. 자기공명영상이 이러한 병변들을 좀더 정확히 보여줄 수 있었고 급성 기보다는 아급성기나 만성기 때 더 유용했다.

기저핵과 시상의 에코의 증가는 만삭아에서 가사 손상 후에 특징적으로 나타났던 대리석양 상태(status marmorata)의 한 소견으로 혈미경상으로 신경교 증식과 국소 신경원세포의 소실로 특징되는 병리학적인 결과가 보고되었다.¹⁶⁾ 다른 보고에서는 이들 소견들이 허혈 후에 나타나는 혈관신생의 결과들이라고 하였다.¹⁷⁾

국소적인 허혈성 병변은 커다란 두개내 혈관의 한 분지인 중뇌동맥에서 잘 발생된다. 혼한 원인들로는 혈발성 혈액내 응고와 연관된 혈전색전증, 태반경색, 태생기 혈관의 퇴행과 외상들이다.¹⁸⁾ 우리의 연구에서

는 일측형 1례가 ABO 혈액부적합에 의해 생긴 우측 대뇌동맥의 혈전색전증으로 발생되었다고 생각된다. 뇌초음파 소견은 우측 기저핵과 시상의 에코의 일측성 증가와 함께 혈관 분포지역의 뇌실질의 에코증가, 불분명한 대뇌구들, 대뇌겸(falx cerebri)의 반대측 변위들이 보였다. 이 예에서는 추적검사에서 보였던 우측 대뇌반구의 낭종성 뇌연화증에도 불구하고 중등도 후유증의 신경 장애를 보여 신경학적 발달의 진행은 미만형보다 비교적 좋았다.

시상의 에코의 국소적인 증가는 경색 뿐만 아니라 비교적 건강한 유아들에서 드물게 일어나는 원발성 시상출혈에서도 보일 수 있는데 주로 일측성의 비균일한 미만성의 에코 증가로 나타나 감별진단을 하는 데 도움이 될 수 있다.¹⁹⁾ 뿐만 아니라 임상적으로 저

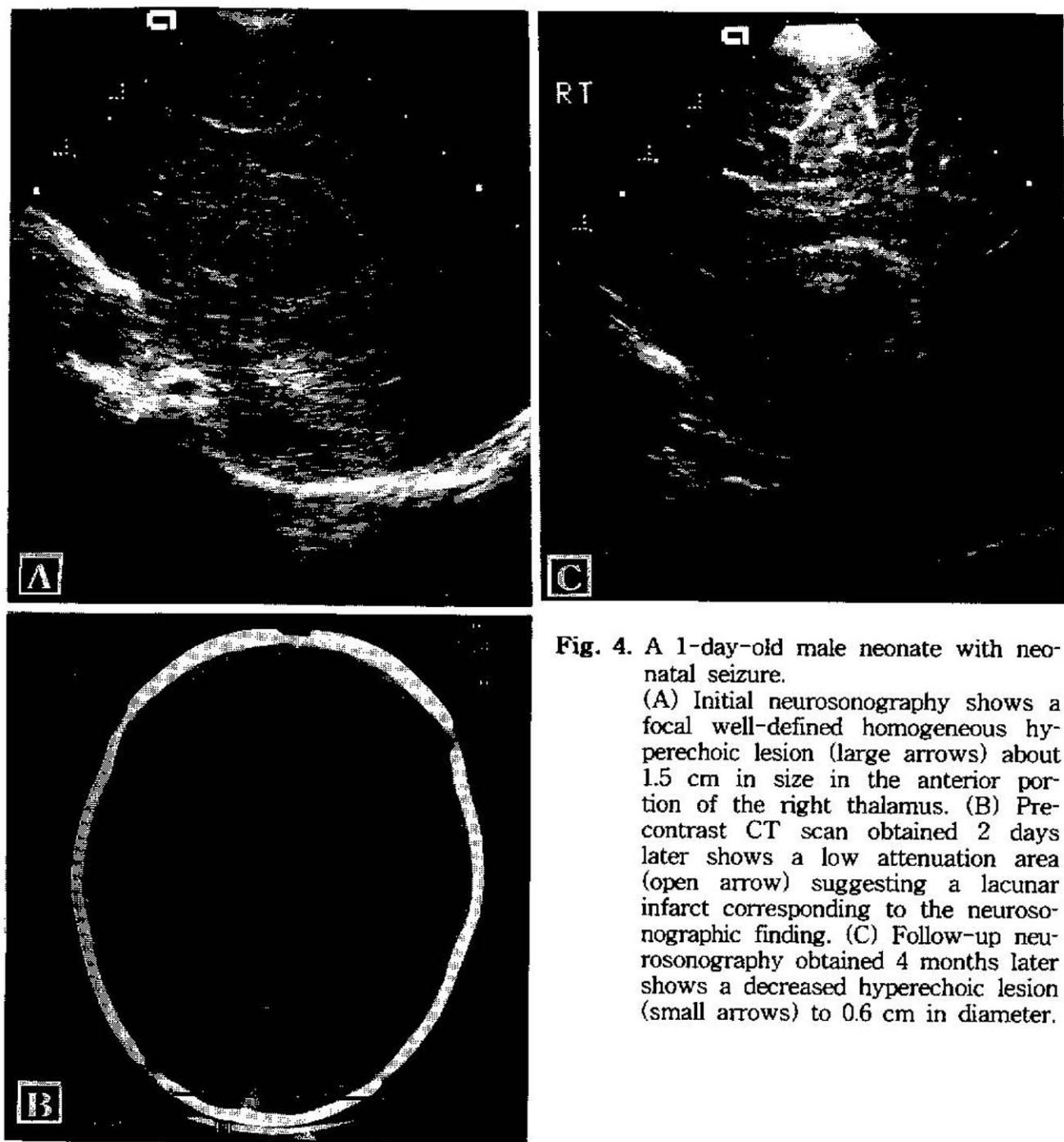


Fig. 4. A 1-day-old male neonate with neonatal seizure.

(A) Initial neurosonography shows a focal well-defined homogeneous hyperechoic lesion (large arrows) about 1.5 cm in size in the anterior portion of the right thalamus. (B) Pre-contrast CT scan obtained 2 days later shows a low attenuation area (open arrow) suggesting a lacunar infarct corresponding to the neurosonographic finding. (C) Follow-up neurosonography obtained 4 months later shows a decreased hyperechoic lesion (small arrows) to 0.6 cm in diameter.

산소-허혈성 손상의 병력이 없는 것이 다르고 전산화 단층촬영은 출혈인 경우 고음영 소견으로 보여 감별 진단을 할 수 있다. 우리의 연구에서는 3례 모두 시상에 국소적인 균일한 고에코가 분명한 경계로 관찰되었고 이 병변들은 전산화단층촬영을 포함한 추적 검사에서 경색으로 확인되었다. 발생 7-15일째 에코증가(균일, 비균일 공히)와 기저핵과 시상의 불규칙한 경계가 감별진단을 하는데 도움이 된다.

신경학적 예후는 기저핵과 시상의 손상뿐만 아니라 다른 뇌실질의 손상과 연관이 있다. 기저핵과 시상의 에코 증가는 저산소-허혈성 뇌증의 비정상적인 발현들 중 하나로 생각되며, 그 예후는 손상 시간에 따라 다르다. Volpe²⁰⁾는 미숙아에서는 사망 60%, 중증의

신경학적 장애 13%, 그리고 정상 발달 27%였고, 반면에 만삭아에서는 사망 11%, 신경학적 장애 25%와 정상 64%였다고 보고하였고, Shen 등^{21, 22)}은 6명의 만삭아중 사망 1명, 중증의 신경학적 장애 5명으로 우리 연구와 비슷한 결과를 보고하였다. 저자들은 이러한 결과들은 기저핵과 시상의 변화와 우리의 추적 검사에서 관찰되었던 심한 뇌위축이나 낭종성 뇌연화증 같은 뇌실질 전체의 변화에 달려있다고 생각된다. 만약 뇌초음파 검사에서 양쪽 기저핵과 시상의 미만성의 고에코 소견을 발견한다면 다른 뇌실질의 이상 소견이 있는지를 찾아보아야만 한다. 이 경우 심한 신경학적 장애가 남을 가능성이 있다. 기저핵과 시상의 에코 증가가 보일 경우 다른 원인 질환들과의 감별이

필요하며 자칫 정상 소견으로 오인될 수도 있으나,¹⁵⁾ 뇌초음파 검사에서 저산소-허혈성 뇌증의 유일한 소견일 수 있기 때문에 간과하지 말아야 한다.

결론적으로 만삭아의 뇌초음파 검사에서 기저핵과 시상의 비정상적인 에코의 증가의 형태는 신경학적인 결과와 연관이 잘 되며 추적 검사의 선택이나 치료방침에 도움을 줄 것으로 생각된다.

요 약

목 적 : 저산소-허혈성 뇌증을 보인 만삭아에서 기저핵과 시상의 뇌초음파 이상 소견을 분석하고 추적 검사와 예후와의 연관성을 알아보고자 하였다.

방 법 : 기저핵과 시상의 비정상적인 뇌초음파 소견을 보인 13명의 만삭아를 대상으로 분석하였다. 모든 예에서 뇌초음파 검사는 임상 증상을 보인 7일 이내에 시행하였고 추적 검사로 11례에서는 뇌초음파 검사를, 4례에서는 전산화단층촬영을, 7례에서는 자기공명영상을 시행하였다. 비정상적인 뇌초음파 검사 소견들을 미만형, 일측형, 국소형으로 분류하였고 추적 검사와 임상적인 추적 신경학적 검사에 따라 예후와의 연관성을 살펴보았다.

결 과 : 미만형은 9명이었고 양쪽 기저핵과 시상에 미만성 에코증가 소견과 뇌부종을 나타내는 세극형 측뇌실, 뇌실질 에코의 증가 소견을 보였고, 추적 검사에서는 에코증가가 좀더 분명해지며 뇌실확장 및 뇌연화증을 보였다. 일측형 1례는 한쪽 기저핵과 시상의 에코 증가와 같은 쪽 대뇌반구의 에코 증가 소견과 측뇌실의 압박 소견을 보여 한쪽 뇌혈관의 혈전색 전증으로 인한 뇌경색 소견을 보였으며, 추적 검사에서 일측성 낭종성 뇌연화증이 관찰되었다. 국소형 3례는 시상에 국소적인 에코 증가로 열공 경색으로 추적 검사에서 확인되었다. 미만형 9례중 1례는 곧 사망하였고, 2례는 자의퇴원하였으며, 6례는 중증의 신경학적 장애를 보였다. 일측형 1례는 중등도의 신경학적 장애를 보였으나 국소형의 3례는 모두 정상 발달을 보였다.

결 론 : 만삭아의 뇌초음파 검사에서 기저핵과 시상의 비정상적인 에코의 증가의 형태는 신경학적인 결과와 연관이 잘 되며 추적 검사의 선택이나 치료방침에 도움을 줄 것으로 생각된다.

참 고 문 현

- 1) Finer NN, Robertson CM, Richards RT, Pinnell LE, Peters KI. Hypoxic-ischemic encephalopathy in term neonates: Perinatal factors and outcome. *J Pediatr* 1981;98:112-7.
- 2) Robertson C, Finer N. Term infants with hypoxic-ischemic encephalopathy: Outcome at 3.5 years. *Dev Med Child Neurol* 1985;27:473-84.
- 3) Vannucci RC, Voorhies TM. Perinatal cerebral hypoxia-ischemia: Pathogenesis and neuropathology. Sarnat HB, editor. *Topics in neonatal neurology*. Grune and Stratton, Orlando. 1984. p27-59.
- 4) Pasternak JF, Preedy TA, Mikhael MA. Neonatal asphyxia: Vulnerability of basal ganglia, thalamus, and brainstem. *Pediatr Neurol* 1991;7:147-9.
- 5) Barkovich AJ, Truwit CL. Brain damage from perinatal asphyxia: Correlation of MR findings with gestational age. *AJNR* 1990;11:1087-96.
- 6) Keeney SE, Adcock EW, McArdle CB. Prospective observations of 100 high-risk neonates by high-field (1.5T) MR image of the central nervous system. II. Lesions associated with hypoxic-ischemic encephalopathy. *Pediatrics* 1991;87:431-8.
- 7) Shuman WP, Rogers JV, Mack LA, Alvord EC, Christie DP. Real-time sonographic sector scanning of the neonatal cranium: Technique and normal anatomy. *AJR* 1981;137:821-8.
- 8) Weber K, Riebel Th, Nasir R. Hyperechoic lesions in the basal ganglia: An incidental sonographic finding in neonates and infants. *Pediatr Radiol* 1992;22:182-6.
- 9) Volt T, Lemburg P, Neuen E, Numenta C, Stork W. Damage of thalamus and basal ganglia in asphyxiated full-term neonates. *Neuropediatrics* 1987;18:176-81.
- 10) Cabanas F, Pellicer A, Higueras AP, Alix AG, Roche C, Quero J. Ultrasonographic findings in thalamus and basal ganglia in term asphyxiated infants. *Pediatr Neurol* 1991;7:211-5.
- 11) Hertzberg BS, Pasto ME, Needleman L, Kurtz AB, Rifkin MD. Postasphyxial encephalopathy in term infants: Sonographic demonstration of increased echogenicity of the thalamus and basal ganglia. *J Ultrasound Med* 1987;6:197-202.
- 12) Babcock DS, Ball W. Postasphyxial encephalopathy in full-term infants: Ultrasound diagnosis.

Radiology 1983;148:417-23.

- 13) Siegel M, Shackelford GD, Perlman JM, Fulling KH. Hypoxic-ischemic encephalopathy in term infants: Diagnosis and prognosis evaluated by ultrasound. Radiology 1984;152:395-9.
- 14) Slovis TL, Shankaran S, Bedard MP, Poland RL. Intracranial hemorrhage in the hypoxic-ischemic infant: Ultrasound demonstration of unusual complication. Radiology 1984;151:163-9.
- 15) Barkovich AJ. MR and CT evaluation of profound neonatal and infantile asphyxia. AJNR 1992;13:959-72.
- 16) Friede RL, Schachenmayr W. Early stages of status marmoratus. Acta Neuropathol 1977;38: 123-7.
- 17) Shewman DA, Fine M, Masdeu JC, Palacios E. Postischemic hypervascularity of infancy: A stage in evolution of ischemic brain damage with characteristic CT scan. Ann Neurol 1981;9:358-65.
- 18) Hill A, Martin DJ, Daneman A, Fitz CR. Focal ischemic cerebral injury in the newborn: Diagnosis by ultrasound and correlation with computed tomographic scan. Pediatrics 1983;71:790-3.
- 19) Trounce JQ, Fawer CL, Punt J, Dodd KL, Fielder AR, Levene MI. Primary thalamic haemorrhage in the newborn: A new clinical entity. Lancet 1985;1:190-2.
- 20) Volpe JJ. Neurology of the newborn. Saunders, Philadelphia : WB Saunders Co, 1987:160-279.
- 21) Shen EY. The bright thalamus (letter). Arch Dis Child 1984;59:695.
- 22) Shen EY, Huang CC, Chyou SC, Hung HY, Hsu CH, Huang FY. Sonographic finding of the bright thalamus. Arch Dis Child 1986;61:1096-9.