

## 단순 경막하 수종과 수두증의 감별진단

가톨릭대학교 의과대학 의정부성모병원 신경외과학교실

우종윤 · 이상복 · 유도성 · 조경석 · 허필우 · 강석구 · 김달수 · 박춘근

### Differential Diagnostic Method between the External Hydrocephalus and Simple Subdural Hygroma

Jong-Yoon Woo, M.D., Sang-Buck Lee, M.D., Do-Sung Yoo, M.D., Kyung-Suck Cho, M.D.,  
Phi-Woo Huh, M.D., Seok-Gu Kang, M.D., Dal-Soo Kim, M.D., and Chun-Kun Park, M.D.

Department of Neurosurgery, Uijeongbu St. Mary's Hospital, The Catholic University of Korea,  
College of Medicine, Seoul, Korea

**Objective:** Various terms are used to describe subdural fluid collection, such as external hydrocephalus, subdural hygroma or effusion, benign subdural collection and extraventricular obstructive hydrocephalus. These confused terms reflect the confusion surrounding these diagnoses. Differentiation external hydrocephalus from simple subdural hygroma may be difficult, but the former appears to be a distinct clinical entity separable from the latter. In this report, we present a differential diagnostic method for differentiating external hydrocephalus from simple subdural hygroma, based on our clinical experience treating subdural fluid collection after mild head trauma.

**Method:** Twenty patients with subdural fluid collection after mild head trauma were included in this study. The ventricle size was measured using a modified frontal horn index (mFHI), where the largest width of the frontal horns was divided by the bicortical distance in the same plane instead of the inner table distance. Indications for surgery were the appearance of a subdural fluid collection of greater than 15 mm thickness on CT, persisting for more than 4 weeks or increasing in size, with accompanying neurological symptoms (confusion or memory impairment). During the procedure, subdural pressure was measured by manometer before opening the dura.

**Results:** The subdural pressure was variable, ranging from 3 to 27.5 mmH<sub>2</sub>O. Five patients with a subdural pressure over 15 cmH<sub>2</sub>O were developed hydrocephalus after the burr hole trephination ( $p < 0.05$ ). All the patients who developed hydrocephalus after burr hole trephination, showed enlarged ventricles (mFHI more than 33%) on preoperative CT imaging.

**Conclusions:** Monitoring the subdural pressure may be a valuable tool to differentiate between subdural hygroma and external hydrocephalus in patients with mild head trauma. Additionally, the modified frontal horn index reflected the nature of the subdural collection more accurately than the standard frontal horn index.

**Key Words:** Subdural hygroma · External hydrocephalus · Frontal horn index · Subdural pressure · Cerebrospinal fluid



#### 서론

"만성 경막하 수종"이라는 용어는 얇은 피막에 의해 둘러

싸인 비혈액성 액체의 경막하 축적이라고 1932년 Dandy에 의해 정의되었다<sup>2,3)</sup>. 그리고 경막하 수종은 뇌의 위축성 변화에 의한 것인지, 구획이 나누어진 뇌척수액에 의한 것인지 혹은 수두증에 의해 초래된 것인지 논란의 소지가 되어왔다. 비록 "외수두증(external hydrocephalus)"이라는 용어가 소아에서 뇌압상승과 동반된 지주막하 혹은 경막하 공간의 비대를 기술하기 위해 사용되어 왔으나, 최근의 증례에 따르면 동일한 경우가 성인에 있어서도 발생 가능한 것으로 제안되

교신저자: 유 도 성  
480-130, 경기도 의정부시 금오동 65-1번지  
의정부성모병원 신경외과학교실  
전화: 82-31-820-3563, Fax: 82-31-846-3117  
E-mail: yooman@catholic.ac.kr

었다<sup>1,4,29)</sup>.

Frontal horn index와 Evan's index는 수두증을 진단하고, 뇌실의 확장 정도를 표현하는 가장 널리 사용되는 방법이다. 그러나 frontal horn index와 Evan's index는 경막하 수종이 있는 경우의 환자에서 뇌실 확장을 정확히 반영하지 못하는 경우가 종종 있다. 경막하 수종이 관찰되는 경우 단순한 수종이라면 수술적 치료가 환자의 신경학적 증상 변화에 별 도움이 되지 못하겠지만, 외수두증의 환자에서는 단락술이 필요하게 될 것이다. 저자들은 가벼운 두부 손상 이후 초래된 경막하 수종 환자에서 frontal horn index 측정법을 조금 변형한 측정법과 수술중 측정한 경막하 압력을 분석하여 외수두증과 단순 경막하 수종을 감별하는 진단법을 제시하고자 한다<sup>18)</sup>.



## 대상 및 방법

### 1. 대 상

1999년 7월에서 2004년 12월 사이에 경막하 수종에 대해

천두술 및 배액술을 시행받은 20명의 성인 환자를(평균연령 60.5세, 36~81세) 대상으로 본 연구를 진행하였다(Table 1). 경막하 수종 이외 다른 동반된 뇌 손상으로, 신경학적 변화를 관찰하는데 어려움이 있을 수도 있으므로, 모든 환자들은 입원 시기부터 퇴원 시까지 Glasgow Coma Scale이 13점 이상이었던 경증도의 환자들을 대상으로 본 연구를 진행하였다. 비록 이 환자군 가운데, 일부는 뇌좌상 혹은 얇은 경막하 출혈이 동반되었으나, 수술적 처치가 필요하지는 않았다. 상기 환자군에서의 신경학적 증상은 지속적인 두통, 경도의 혼돈 및 기억력 이상이 있었다.

### 2. 뇌 전산화단층촬영

환자가 처음 도착 한 순간 가능한 빨리 CT를 촬영하였으며, 그 이후로는 1주 간격으로 CT 추적 검사가 시행되었다. 뇌실의 크기는 modified frontal horn index 방법으로 측정하였는데, 이 측정법은 frontal horn의 최대 직경을 inner table distance가 아닌 동일 선상의 bicortical distance에 의해 나누는

**Table 1.** Clinical characteristics and CT findings of 20 patients with subdural hygroma\*

Case No.	Age(yrs), Sex	Initial GCS Score	CT Findings		Subdural Pressure (mmH <sub>2</sub> O)	6-Mo GOS Score	CT Findings (after burr hole)
			Initial FHI/mFHI(%)	Pre-OP FHI/mFHI(%)			
Hydrocephalus Group							
1	62, M	13	29/24	31/39	16.5	5	complete resolution
2	42, F	14	33/33	25/34	22	5	complete resolution
3	59, M	13	33/39	35/43	23	5	complete resolution
4	65, M	15	31/31	36/38	25	5	complete resolution
5	63, M	14	33/37	37/44	27.5	5	complete resolution
Subdural Hygroma Group							
6	36, M	13	28/28	29/30	3	5	complete resolution
7	60, F	13	31/31	29/31	3	5	complete resolution
8	59, M	15	22/22	32/32	3.5	5	8 mm remained at left
9	74, M	15	26/31	28/31	5	5	complete resolution
10	52, F	13	25/25	29/32	6.5	5	complete resolution
11 <sup>†</sup>	81, M	15	33/38	39/46	7	5	not changed
12	71, M	15	32/33	29/32	7.5	5	complete resolution
13	69, M	13	23/34	32/39	8	4	not changed
14	78, F	15	25/26	27/30	8	5	not changed
15	58, M	13	27/33	27/33	8.2	4	complete resolution
16 <sup>†</sup>	66, M	15	24/27	26/28	8.5	5	not changed
17	61, M	13	33/33	33/36	8.5	5	5 mm remained at left
18	67, M	15	27/29	31/31	10	5	complete resolution
19	74, M	15	33/34	35/38	12	5	complete resolution
20 <sup>†</sup>	62, M	13	30/31	25/30	15	5	not changed

\*FHI = frontal horn index, GCS = Glasgow Coma Scale, GOS = Glasgow Outcome Scale, mFHI = modified frontal horn index, SDH = subdural hematoma.

<sup>†</sup>developed chronic subdural hematoma.

방법으로 측정 하였다(Fig. 1).

### 3. 수술 적응증

경막하 수종에 대한 수술적 치료는 4주 이상 검사한 CT 검사에서 경막하 수종의 두께가 15 mm 이상 증가하거나, 지속적으로 유지되는 경우, 경막하 수종 이외의 병변이 존재하지 않음에도 불구하고, 신경학적 증상(혼돈, 기억력 장애 그리고 두통 등)을 보이고 경우 수종이 위치한 부위에 천두 및 배액술을 시행하였다. 천두술을 시행한 모든 환자에서 수술 시 경막하 압력을 측정하였는데, 두개골 천두 후 경막을 열기 전에 16 gauge Angio needle을 사용하여 경막을 천자하였고, manometer를 연결하여 경막하 압력을 측정하였다. 천두술 이후 수두증 증상을 보이면서, 동시에 CT 검사 상 뇌실 확장이 관찰되는 경우(mFHI 33% 이상) 뇌실 복강 단락술을 시행하였다.

### 4. 통계 분석

연구 측정치는 평균  $\pm$  표준편차로 제시하였다. 통계적 비교를 위하여 카이제곱 검정법과 T-검정을 시행하였으며, p값이 0.05 이하인 경우 통계적으로 유의하게 판단하였다.



## 결 과

### 1. 뇌 전산화단층촬영 결과

대상 환자에서 측정한 modified frontal horn index는 28~46%였으며, 두개골 천두술을 시행하기 전 modified frontal horn index가 33% 이상이었던 10명 가운데 5명의 환자에서 (50%), 수술 후 수두증이 발생하였다( $p < 0.05$ ). 이외는 반대로 수술 전 modified frontal horn index가 33% 미만이었었던 환자군(10명)에서는 수술 후 수두증이 발생하지 않았다(Table 1, Fig. 2).

### 2. 경막하 압력 측정 결과

경막하 압력은 3~27.5 cmH<sub>2</sub>O로 다양하게 나타났으며, 경막하 압력이 15 cmH<sub>2</sub>O 이상이었던 6명 중 5명에서 천두술 후 수두증이 발생하였다( $p < 0.05$ ). 그러나 경막하 압력이 15 cmH<sub>2</sub>O 미만 인 14명의 환자와 경막하 압력이 15 cmH<sub>2</sub>O 이지만, mFHI가 33% 미만이었었던 환자에서는 수두증이 발생한 경우는 관찰되지 않았다.

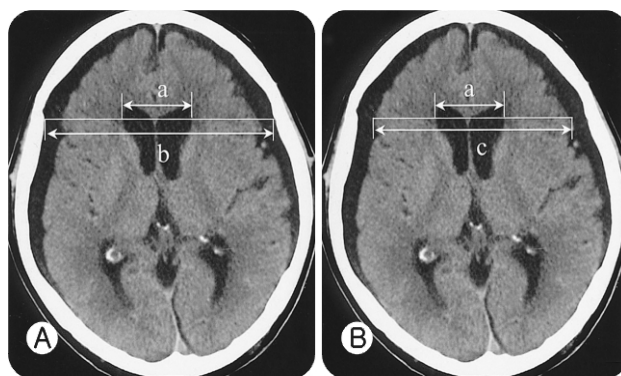


Fig. 1. Measurement methods of the ventricular enlargement on CT scan. **A**: measured by the frontal horn index (FHI=31%). **B**: measured by the modified frontal horn index (mFHI=36%). (a: the largest width of the frontal horns, b: inner table distance, c: bicortical distance).

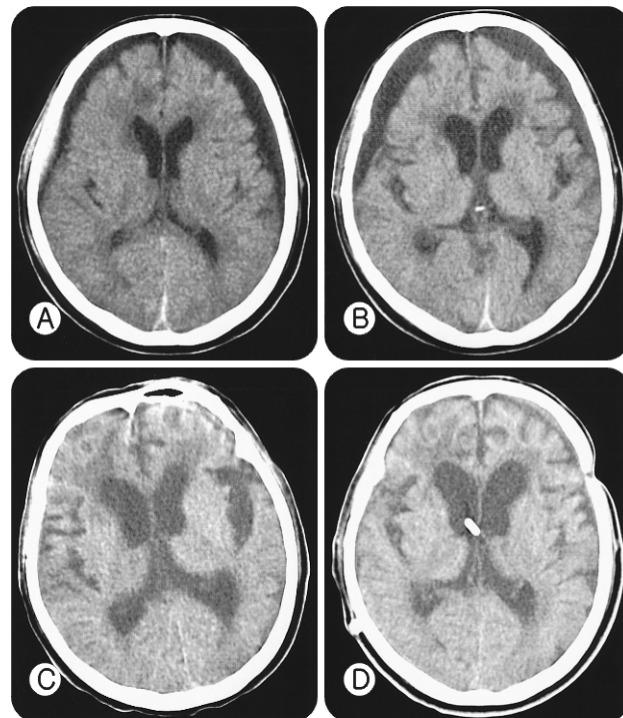


Fig. 2. Representative neuroradiological studies obtained in a patient with external hydrocephalus. **A**: Initial CT scan demonstrating the developed bilateral subdural hygroma. **B**: Follow up CT scan (28 days after head trauma) shows further increased subdural hygroma and further enlarged ventricles. **C**: Follow up CT scan (1 month after the burr hole drainage) shows enlarged ventricles with periventricular lucency. **D**: CT scan after the shunt operation.

### 3. 신경학적 결과

두개골 천두술과 관련된 합병증은 없었으며, 경막하 액체 축적물로 인한 신경학적 증상은 대부분의 경우에서 호전되었다 (85%). 특히, 수두증으로 진단 받고 단락술을 시행받은 다섯 명의 환자들은 신경학적 증상이 완전히 해소되었다. 전형적인 수두증 증상 및 뇌실 비대는 천두술 시행 후 1주에서 2개월 사이에 발생하였다. 수두증 환자군에서 경막하 수종으로 인하여 초래된 수술 전 신경학적 증상은 전형적인 수두증 증상 (걸음걸이 장애, 기억력 장애, 배뇨 장애)이 아니고, 경도의 혼돈, 기억력 감퇴 등이었다. 천두술 시행 후, 이 환자군의 신경학적 증상은 전형적인 수두증 증상으로 표현되었으며, 단락술 시행 이후 완전히 해소되었다.



## 고찰

경막하 액체 축적물은 경막하 공간 내에 과량의 유체가 있는 것을 서술하기 위해 사용되는 방사선학적 용어이며, 경막하 “액체 축적”, “수종”, “삼출”, 그리고 “혈종”은 동일한 주제를 다루는 많은 다른 연구 보고서에서 혼용되어 사용되고 있다<sup>2,3,5,29</sup>. 이러한 다양한 액체 축적물의 원인으로는 개두수술, 두부 외상, 감염, 선천적 기형, 그리고 두개골과 뇌조직간의 체적 불균형 등이 있을 수 있다<sup>3,4,10,14,20,26,29</sup>.

과량의 액체가 경막하 공간에 축적되는 기전은 아직 명확히 이해되지 않은 상태이다. 경막과 지주막 사이에 미량의 유체가 존재하고 이러한 공간이 경막하 공간이라고 믿어져 왔으나, Clara et al 등<sup>3</sup>은 이러한 전통적인 개념은 경막하 공간은 사후의 허상이라고 반박하였다. 이러한 관점에서 경막하 공간은 실제 생리적인 상태에서는 존재하지 않는 공간이다. 해부학적으로, 밀집된 세포층, 즉 경막의 가장 내층면과 지주막의 가장 외층면으로 구성되어 명확한 분리할 수 없는 층이지만, 교원질 조직의 부재 혹은 외상이나 감염 등, 세포 접합의 이상으로 경막과 지주막 간의 공간을 생성할 수 있다. 여기에서 지주막의 파열은 경막-지주막 접촉면층의 접합 회복을 막는 ball-valve 장치로 작용하게 된다<sup>3,8,9,14,15,29</sup>.

이번 연구에서 경막하 액체 축적은 두부 손상 후, 가장 빠르게는 7~8시간 후 부터 관찰되었으며, 수상 후 2주째 명확해졌다.

외수두증은 대두증으로, CT 상에서 저농도로 나타나는 액체 축적으로 유아에 있어 잘 정의된 개념이다. 이러한 소아

외수두증은 그 원인을 알 수 없는 경우가 일반적이지만, 때로는 외상, 감염 혹은 정맥성 고혈압에 의해 생길 수도 있다. 외수두증이 일반적인 뇌실 내 수두증으로 전환되는 것에 기여하는 요인은 여전히 미지수이다. 그러나 양쪽 모두 뇌척수액 흡수에 장애가 있는 것으로 생각되어진다<sup>1,4,5,11,13,17,20,26,28</sup>.

비록 뇌위축과 외수두증, 그리고 단순 경막하 수종 사이에 방사선학적 유사성이 존재하지만, 각각의 질환은 임상적으로 엄연히 다른 질병이다. Yoshimoto et al<sup>29</sup>은 외수두증의 대부분의 환자에서 측뇌실의 크기가 일반적으로 증가되어 있음을 보고하였고, 단순 경막하 수종은 오직 노년층에서 발생하며, 반면에 외수두증은 비교적 젊은 층에서 발생한다고 보고하였다.

CT 상의 진단 기준에 의한 수두증의 진단은 Gudeman et al<sup>7</sup>에 의해 도입되었는데, 이 진단 기준에 의하면 측뇌실의 전방각의 확장과 뇌이랑이 정상 또는 소실 상태에서 측방각 및 3 뇌실의 확장이 되는 경우 진단 내릴 수 있다고 하였다. 뇌실 주위부 투명화(periventricular translucency)는 확진할 수 있는 진단적 증거로 볼 수 있다<sup>4,12,13,18</sup>. 그러나 일련의 CT 검사에 의한 뇌실 크기 측정만으로는 경막하 액체 축적의 진단으로 신뢰적이지 못하다. 왜냐하면 점진적인 경막하 액체 축적은 경막하 수종에서 뿐만 아니라 외수두증 환자에 있어서도 관찰되기 때문이다<sup>18</sup>. 이번 연구에서 뇌실의 비대를 modified frontal horn index 방법으로 측정하여 평가하였는데, 이 방법은 inner table distance (frontal horn index)를 사용하는 대신 frontal horn의 최장경과 같은 위치에서 bicortical distance를 사용하는 것이 경막하에 액체 축적이 있는 환자군에서는 뇌실 비대를 더욱 잘 반영할 수 있다고 판단되었기 때문이다.

앞선 논문에 의하면 두부 외상 이후의 수두증은 뇌실 비대와 뇌압 상승에 기인한다고 제안하였다<sup>7,18,19,25,27</sup>. 저자들은 경막하 압력을 manometer를 사용하여 측정하였는데, 측정된 경막하 압력은 개체에 따라 다양한 측정값을 보였다. 15 cmH<sub>2</sub>O 이상인 6명 중 5명에서 천두술 이후 수두증이 발생하였다(p<0.05).

본 연구에서 외수두증에 의한 신경학적 증상은 일반적 수두증에 있어서 발생하는 증상과는 다소 달랐다. 뇌실 비대에 의한 뇌실질 압박에 기인한 전형적인 정상 뇌압 수두증에서의 증상은 보행장애, 배뇨장애 그리고 기억력 손상이다. 그러나 단락술을 시행받은 5명의 환자에서 단순 경막하 수종이 아닌 외수두증에 의한 신경학적 증상은 혼돈, 두통 그리고 기억력 장애 등 이었다. 다른 저자들에 의하면 이러한 외수두증과 일반적인 수두증의 증상의 차이는 압박을 가하는 병변의



해부학적 위치 차이에서 기인 한다고 제안하고 있다<sup>2,14,25</sup>.

Cardoso et al<sup>4)</sup>은 외상이나 지주막하 뇌출혈 이후의 신경 조직 외부의 액체 축적은 성인에서 발생하는 외수두증일 수 있으므로, 영상 검사의 주기적인 추적이 필요하고 수두증이 발생할 경우 뇌척수액 단락술이 필요할 수 있다고 기술하였다. 또한 뇌척수액 단락술에 대한 반응은 큰 차이를 보이므로 외수두증을 만성 경막하 혈종과 감별하는 것이 매우 중요하다. 경막하 혈종은 단락술 이후 크기의 증가를 보이는 반면 외수두증은 일반적으로 감소하는 소견을 보인다고 보고하였다<sup>4,24</sup>. 본 연구에서 8명의 환자군에서는 천두술 이후 경막하 축적물이 그대로 남는 소견을 보였으며, 이 환자군에 있어서의 경막하 액체 축적물은 뇌위축으로 초래된 보상적 액체 축적으로 사료된다.

Lee 등<sup>15,16)</sup>은 경막하 수종의 마지막 단계는 만성 경막하 혈종으로 변화하거나 소멸되는 것 중 하나라고 주장하였다. 이들의 연구에 의하면 경막하 수종의 대략 절반 정도는 3개월 이내에 소멸되거나 감소되었으며, 감소되지 않은 경막하 수종의 61.3%는 만성 경막하 혈종으로 전환되었다<sup>15,16,21,22</sup>. 본 연구에서는 천두술 이후에 소멸되지 않은 3명의 환자에서 만성 경막하 혈종이 형성 되었으며, 5명의 환자에서 외수두증이 진단되었으며, 향후 순차적으로 단락술을 시행받게 되었다.



## 결론

뇌척수액 단락술은 외수두증에 있어서는 가장 적절한 치료 방법이지만, 반면에 경막하 수종의 경우 신경학적 증상을 악화시킬 수 있으므로, 이 두 가지 질환을 감별하는 것은 중요하다. 저자들의 연구 결과에 따르면 일련의 CT 검사를 통한 뇌실 비대의 modified frontal horn index를 통한 측정과 천두술 시의 경막하 압력 측정은 외수두증과 경막하 수종을 식별하는 감별진단 방법으로서 의미있는 것으로 사료되어 진다.



## REFERENCES

- Andersson H, Elfverson J, Svendsen P: External hydrocephalus in infants. *Childs Brain* 11:398-402, 1984
- Borzone M, Capuzzo T, Perria C, Rivano C, Tercero E: Traumatic subdural hygromas: A report of 70 surgical treated cases. *J Neurosurg Sci* 27:161-165, 1983
- Caldarelli M, Di Rocco C, Romani R: Surgical treatment of chronic subdural hygromas in infants and children. *Acta Neurochir (Wien)* 144:581-588, 2002
- Cardoso ER, Schubert R: External hydrocephalus in adults. *J Neurosurg* 85:1143-1147, 1996
- Endtz LJ: Post-traumatic hygroma in the eighteenth century: Described by Thomas Schwenske. *Surg Neurol* 10:305-307, 1978
- French BN, Cobb CA 3rd, Corkill G, Youmans JR: Delayed evolution of posttraumatic subdural hygroma. *Surg Neurol* 9:145-148, 1978
- Gudeman SK, Kishore PR, Becker DP, Lipper MH, Girevendulis AK, Jeffries BF, et al: Computed tomography in the evaluation of incidence and significance of post-traumatic hydrocephalus. *Radiology* 141:397-402, 1981
- Haines DE, Harkey HL, al-Mefty O: The "subdural" space: A new look at an outdated concept. *Neurosurgery* 32:111-120, 1993
- Hasegawa M, Yamashima T, Yamashita J, Suzuki M, Shimada S: Traumatic subdural hygroma: pathology and meningeal enhancement on magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 31:580-585, 1992
- Hwang JH, Jeon TH, Hamm IS: Simple hygroma and shunt dependent hydrocephalus after aneurismal clippings. *J Korean Neurosurg Soc* 29:231-239, 2000
- Koizumi H, Fukamachi A, Nukui H: Postoperative subdural fluid collections in neurosurgery. *Surg Neurol* 27:147-153, 1987
- Kosteljanetz M, Ingstrup HM: Normal pressure hydrocephalus: correlation between CT and measurements of cerebrospinal fluid dynamics. *Acta Neurochir (Wien)* 77:8-13, 1985
- Kuzma BB, Goodman JM: Differentiating external hydrocephalus from chronic subdural hematoma. *Surg Neurol* 50:86-88, 1998
- Lee KS: The pathogenesis and clinical significance of traumatic subdural hygroma. *Brain Inj* 12:595-603, 1998
- Lee KS, Bae WK, Doh JW, Bae HG, Yun IG: Origin of chronic subdural haematoma and relation to traumatic subdural lesions. *Brain Inj* 12:901-910, 1998
- Lee KS, Bae WK, Bae HG, Yun IG: The fate of traumatic subdural hygroma in serial computed tomographic scans. *J*

- Korean Med Sci** 15:560-568, 2000
17. Litofsky NS, Raffel C, McComb JG: Management of symptomatic chronic extra-axial fluid collections in pediatric patients. **Neurosurgery** 31:445-450, 1992
18. Marmarou A, Foda MA, Bandoh K, Yoshihara M, Yamamoto T, Tsuji O, et al: Posttraumatic ventriculomegaly: hydrocephalus or atrophy? A new approach for diagnosis using CSF dynamics. **J Neurosurg** 85:1026-1035, 1996
19. Maytal J, Alvarez LA, Elkin CM, Shinnar S: External hydrocephalus: Radiologic spectrum and differentiation from cerebral atrophy. **Am J Roentgenol** 148:1223-1230, 1987
20. Miyake H, Kajimoto Y, Ohta T, Kuroiwa T: Managing subdural fluid collection in infants. **Childs Nerv Syst** 18:500-504, 2002
21. Papasian NC, Frim DM: A theoretical model of benign external hydrocephalus that predicts a predisposition toward extra-axial hemorrhage after minor head trauma. **Pediatr Neurosurg** 33:188-193, 2000
22. Park CK, Choi KH, Kim MC, Kang JK, Choi CR: Spontaneous evolution of posttraumatic subdural hygroma into chronic subdural haematoma. **Acta Neurochir (Wien)** 127:41-47, 1994
23. Sohn IT, Lee KS, Doh JW, Bae HG, Yun IG, Byun BJ: A prospective study on the incidence, pattern and premorbid conditions of traumatic subdural hygroma. **J Korean Neurosurg Soc** 26:87-93, 1997
24. St John JN, Dila C: Traumatic subdural hygroma in adults. **Neurosurgery** 9:621-625, 1981
25. Stone JL, Lang RG, Sugar O, Moody RA: Traumatic subdural hygroma. **Neurosurgery** 8:542-550, 1981
26. Tolias C, Sgouros S, Walsh AR, Hockley AD: Outcome of surgical treatment for subdural fluid collections in infants. **Pediatr Neurosurg** 33:194-197, 2000
27. Wetterling T, Demierre B, Rama B, Spoerri O: The clinical course of surgically treated posttraumatic subdural hygromas. **Acta Neurochir (Wien)** 83:99-104, 1986
28. Woo BG, Choi BY, Kim SH, Bae JH, Cho IH, Kim OL, et al: Radioisotope cisternographic analysis of post-operative subdural hygroma after aneurismal surgery. **J Korean Neurosurg Soc** 26:202-207, 1997
29. Yoshimoto Y, Wakai S, Hamano M: External hydrocephalus after aneurysm surgery: Paradoxical response to ventricular shunting. **J Neurosurg** 88:485-489, 1998