

# 머리 유한요소 모델을 이용한 지주막 낭종의 발생 위치에 따른 낭종 출혈의 가능성 분석

## Analysis of the arachnoid cyst bleeding according to the location using FE head model

\*한인석<sup>1</sup>, #김영은<sup>2</sup>

\*I. S. Han<sup>1</sup>, #Y. E. Kim(yekim@dku.edu)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>단국대학교 기계공학과 대학원, <sup>2</sup>단국대학교 기계공학과

Key words : Arachnoid cyst, Middle fossa, Posterior fossa, Suprasellar region, subdural hematoma

### 1. 서론

지주막 낭종(Arachnoid cyst)은 뇌를 둘러싸고 있는 지주막(Arachnoid membrane)에 선천적인 구조의 이상으로 벌어진 틈이 생겨, 그 안쪽으로 뇌척수액(Cerebrospinal fluid)이 모이면서 발생하는 질병으로 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 발병률은 10만명당 5명 수준이며, 주요 발병 부위는 약 60%가 중두개와(Middle fossa)로 가장 빈번하고, 뒤를 이어 약 10%가 후두와(Posterior fossa)에서 발생하며, 이외의 기타부위에도 발생한다. 이러한 AC(지주막 낭종)는 경막하(Subdural) 또는 낭종내(Intracystic) 출혈(Bleeding), 낭종 파열(Cyst rupture) 등의 발생률을 높이고, 머리 부상 후 경막하 혈종(Subdural hematoma)을 일으키는 원인 중 하나이다. 선행연구에 따르면, SDH(경막하 혈종)는 특히 중두개와에 발생하는 실비우스 지주막 낭종(Sylvian AC)이 있을 경우 더욱 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다.<sup>(2)</sup> 하지만 이들 연구는 통계학적 분석을 통해 진행되었기 때문에, 지주막 낭종의 발생 위치에 따른 SDH와 관련하여 정확한 기전(mechanism)은 설명되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 성인 머리 상해 유한요소 모델을 개발하고, 이를 활용해 AC의 발병 위치에 따른 출혈 가능성을 분석하고자 하였다.

### 2. Method

머리 유한요소 모델의 형상은 표준 서양 남성을 대변하는 NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) human anatomy model (Digimation, Inc., FL)을 참고 하였고, 상용 해석 프로그램인 LS-DYNA (version 971, Livermore Software Technology Co., CA)를 사용하여 해석하였다.

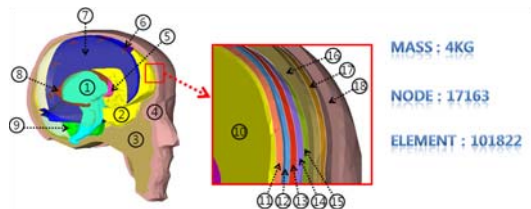


Fig. 1 Developed intact head FE model.

모델은 두피(Scalp), 두개골(Skull), 경막(Dura), 지주막, 지주막하공간(Subarachnoid space), 연막(Pia), 대뇌 겹막(falx cerebri), 뇌(Brain)로 구성하였다. 지주막과 경막 사이의 인터페이스는 선행연구를 참고하여 노드를 공유(Node sharing)하여 모델링하였다.<sup>(3)</sup>

개발된 정상 상태 모델은 그림1과 같으며, 18개의 구성요소와 4kg의 무게를 갖고 있다. Nahum 등<sup>(4)</sup>에 의해 수행된 사체 실험 data를 참고해 충격 하중 시 brain 내부 압력변화를 검증 하였고, Hardy 등<sup>(5)</sup>에 의해 수행된 연구결과를 참고하여 brain 거동을 검증하였다.

검증된 모델을 이용해 AC 모델을 개발하였으며, AC 주변의 지주막과 경막 사이에 0.01mm의 간격을 두고 spot-weld constraint를 설정하여 반력(Reaction force)을 측정해 낭종 출혈 가능성을 분석하였다. AC의 발생 위치 따른 영향을 살펴보기 위해 동일한 부피를 갖는 AC를 가장 빈번하게 발생하는 순으로 중두개와(MAC), 후두와(PAC), 안상 부위(Suprasellar region : SAC) 위치에 각각 구성하였다. 정상 모델 또한 AC 모델과의 비교를 위해 AC모델과 동일한 위치에 spot-weld constraint를 설정하여 수정된 정상 모델(Modified Normal Model : MNM)로 구성하였다. 충돌 방향에 따른 영향을 분석하기 위해 5.6kg의 impactor를 4방향(Frontal, rear, left lateral, right lateral)

에 대하여 4m/s의 속도로 하중을 부여하고 두개 내의 압력(Intracranial pressure), Spot-weld에 발생하는 축력(Axial force), 전단력(Shear force)을 측정하여 비교하였다.

### 3. 결과

Brain 내부 압력 변화 결과는 그림 2와 같이 세 모델 모두에서 AC 내부의 압력이 산발적으로 분포하고, 국부적인 압력 집중현상도 포함하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 모든 충돌 방향에 대해서 MAC에서 가장 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

축력의 경우 전체적 경향은 정상 모델과 AC모델 모두 충격 방향의 반대쪽에서 축력이 높게 측정되어 유사하였으나, AC 모델은 축력의 분포가 산발적인 것으로 나타났다. MNM 모델들에 비해 AC모델들에서 축력이 산발적으로 크게 증가 하는 경향이 관찰되었다. 하지만 경막과 지주막은 얇은 유체층을 두고 서로 접촉해 있어 두 막의 사이가 진공인 상태이기 때문에, 두 면의 수직 방향으로 분리시키는 것에는 큰 힘이 필요하므로 축력 보다는 전단력이 혈관 파열의 주요 원인이 될 것으로 판단하였다.

정상 모델 대비 AC 모델에서의 전단력 증가량은 그림 3과 같다. 후방 충돌을 제외한 나머지 모든 방향에 대하여 MAC에서 가장 뚜렷하게 전단력이 증가하는 것으로 나타났다. MAC 다음으로는 PAC에서 증가현상이 큰 것으로 나타났으며, SAC에서 가장 변화가 적은 것으로 나타났다. MAC Left와 PAC Rear의 결과를 통해, 충돌 시 AC와 Impactor가 가까운 경우 전단력의 변화가 뚜렷함을 알 수 있다.

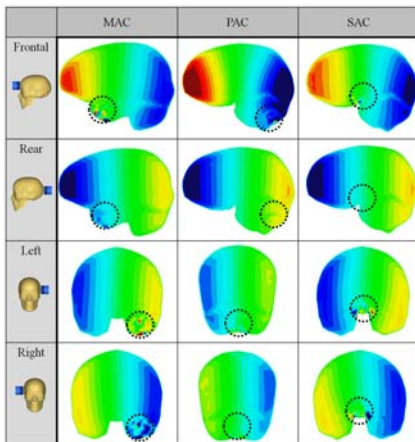


Fig. 2 Pressure contour of the AC models.

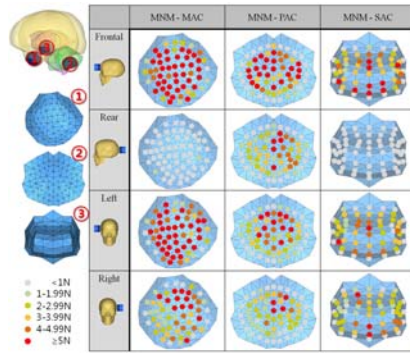


Fig. 3 The difference of peak shear force.

### 4. 결론

AC가 있을 경우 혈관에 부여되는 축력과 전단력이 모두 증가하며, 상대적으로 낭종 출혈에 결정적 역할을 하는 전단력 변화량이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 전단력의 변화량은 AC의 위치에 따른 차이가 있으며, 중두개와에 발생하는 실비우스 지주막 낭종(Sylvian AC)이 낭종 출혈 가능성이 가장 현저한 것으로 나타났다.

### 후기

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012-0000783))

### 참고문헌

1. Cincu, R., Agrawal, A. and Eiras, J., "Intracranial arachnoid cysts: current concepts and treatment alternatives," Clin Neurol Neurosurg, **109**(10), 837-43, 2007.
2. Cappelen, J., Unsgaard, G., "Arachnoid cysts of the middle cranial fossa and traumatic complications. Childs Nerv Syst. **2**(5), 225-7, 1986.
3. Kleiven, S. and Hardy, W., N., "Correlation of an FE Model of the Human Head with Local Brain Motion--Consequences for Injury Prediction," Stapp Car Crash J., **46**, 123-44, 2002.
4. Nahum, A., M., Smith, R., and Ward, C., C., "Intracranial pressure dynamics during head impact," Stapp Car Crash J., **50**, 509-44, 1977.
5. Hardy, W., N., Foster, C., D., Mason, M., J., Yang, K., H., King, A., I. and Tashman, S., "Investigation of Head Injury Mechanisms Using Neutral Density Technology and High-Speed Biplanar X-ray," Stapp Car Crash J., **45**, 337-68, 2001.