

유한요소모델을 이용한 지주막 낭종 출혈에 관한 연구 Investigation of the arachnoid cyst bleeding using human head FE model

*한인석¹, #김영은²

*I. S. Han¹, #Y. E. Kim(yekim@dku.edu)²

¹단국대학교 기계공학과 대학원, ²단국대학교 기계공학과

Key words : Arachnoid cyst, subdural hematoma, Middle fossa, Vessel rupture

1. 서론

지주막 낭종(Arachnoid cyst)은 뇌를 둘러싸고 있는 지주막하 공간에 선천적으로 발생하는 질병으로 발병률은 10만명당 5명 수준이며, 측두엽 부위 실비우스열(Sylvian fissure)에 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 선천적인 구조의 이상으로 지주막(Arachnoid membrane)에 벌어진 틈이 생겨, 그 안쪽으로 뇌척수액(Cerebrospinal fluid)이 흘러들어가 낭종(물혹)이 형성되는 가설이 최근 제시 되었다.⁽¹⁾ 이러한 AC(지주막 낭종)는 경막하(Subdural) 또는 낭종내(Intracystic) 출혈(Bleeding), 낭종파열(Cyst rupture) 등의 발생률을 높이고, 머리 부상 후 경막하 혈종(Subdural hematoma)을 일으키는 원인 중 하나로 알려져 있다. 지주막 낭종으로 인한 SDH(경막하 혈종)과 관련하여 여러 가지 가설은 제시 되었지만, 사체 혹은 동물시험이 불가능하기 때문에, 혈관의 출혈 또는 파열의 정확한 기전(mechanism)은 설명되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 성인 머리 상세 유한요소 모델을 개발하고, 이를 이용한 sylvian AC의 출혈 또는 파열의 기전을 알아보려고 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, 개발된 모델은 상용 해석 프로그램인 LS-DYNA (version 971, Livermore Software Technology Co., CA)를 사용하여 해석하였다.

개발된 모델은 두피(Scalp), 두개골(Skull), 경막(Dura), 지주막, 지주막하공간(Subarachnoid space), 연막(Pia), 대뇌겉면(falx cerebri), 뇌(Brain) 으로 구성하였다. 두피와 두개골은 4 node tetrahedron solid element로 구성하고 선형

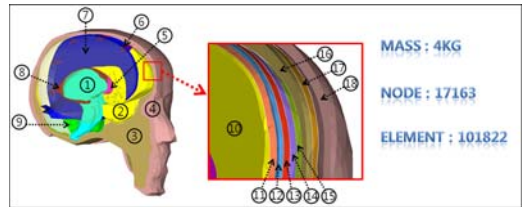


Fig. 1 Developed intact head FE model.

물성을 입력하였으며, 경막, 연막, 지주막, 대뇌겉면 membrane element로 구성하였다. 지주막하공간은 solid element로 구성하고, 매우 낮은 점탄성 물성을 입력하였다. Brain은 백질(White mater)과 회백질(Grey mater)을 따로 나누지 않고, 둘의 중간 값에 해당하는 물성을 부여하였다. 모든 ventricle은 solid element로 모델링하고, elastic-fluid 물성을 입력하였다. 경막하 출혈은 경막과 지주막 사이를 연결하는 혈관이 끊어져 발생하기 때문에, 본 연구에서는 이에 대한 정확한 모델링이 무엇보다 중요하다. Kleiven 과 Hardy는 Tie break, Tie, Sliding contact 등의 다양한 방법으로 둘 사이의 interface에 따른 brain의 거동과 내부 압력 변화를 조사한 바 있다.⁽²⁾ 그 결과를 참고하여 지주막과 경막은 노드를 공유하여 둘을 묶어(Tie) 주었다. 단, AC 주변의 지주막과 경막 사이는 반력(Reaction force)를 측정하기 위해 0.01mm의 간격을 두고 spot-weld constraint를 부여하였다.

개발된 정상 상태 모델은 그림1과 같으며, 18개의 구성요소와 4kg의 무게를 갖고 있다. Nahum 등⁽³⁾에 의해 수행된 사체 실험 data를 참고해 충격 하중 시 brain 내부 압력변화를 검증 하였고, Hardy 등⁽⁴⁾에 의해 수행된 연구결과를 참고하여 brain 거동을 검증하였다. 검증된 모델을 이용해 AC 모델을 개발하였으며, AC 사이즈에 따른 영향을 분석하기 위해 두 종류(AC volume : 56cm³, 75cm³)로 구성하였다.

정상 모델과 AC 모델의 혈관 파열 위험도를

분석하기 위해 5.6kg의 impactor를 4방향(Frontal, rear, right lateral, left lateral)에 대하여 5.5m/s의 속도로 하중을 부여하고 brain 압력, Spot-weld에 발생하는 축력(Axial force), 전단력(Shear force)을 측정하여 비교하였다.

3. 결과

Brain 내부 압력 변화 결과는 그림 2와 같이 정상 모델의 경우 모든 하중조건에서 고르게 분포하는 반면, AC 모델의 경우 두 모델 모두에서 AC 내부의 압력이 산발적으로 분포하고, 국부적인 압력 집중 현상도 포함하고 있는 것으로 나타났다. AC 사이즈에 따른 뚜렷한 차이점은 없었다.

축력의 경우 전체적 경향은 정상 모델과 AC모델 모두 충격 방향의 반대쪽에서 축력이 높게 측정되어 유사하였으나, AC 모델은 축력의 분포가 산발적인 것으로 나타났다.

얇은 막이 유체층을 두고 서로 접촉해 있는 조건의 경우 두 막의 사이가 진공인 상태이기 때문에, 면의 수직 방향으로 분리시키는 것에는 큰 힘이 필요하지만 수평 방향으로로는 상대적으로 작은 힘으로도 가능하다. 경막과 지주막이 위와 같은 조건으로 되어 있을 것으로 가정하고, 축력 보다는 전단력이 혈관 파열의 주요 원인이 될 것으로 판단하였다. 정상 모델 대비 AC 모델에서의 전단력 증가량은 그림 3과 같다. 전방 충돌의 경우, 최대 전단력 변화량이 중간 사이즈에서 12.7N, 큰 사이즈에서 14.2N으로 나타났다. 후방 충돌에서는 3.7N과 8.1N, 우측 충돌 5.6N과 6.0N, 좌측 충돌은 5.5N과 6.5N으로 각 방향 모두 큰 사이즈 모델에서 축력의 변화가 큰 것으로 나타났다.

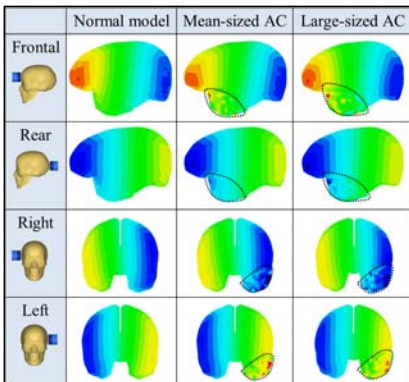


Fig. 2 Comparison of Pressure gradient by impact direction.

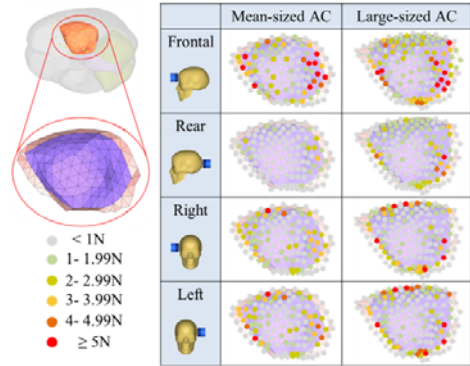


Fig. 3 The difference of peak shear force.

4. 결론

AC가 있을 경우 혈관에 부여되는 축력과 전단력이 모두 증가하며, 상대적으로 혈관 파열에 결정적 역할을 하는 전단력 변화량이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 전단력의 변화량은 국부적으로 차이가 있으며, 충격 방향의 반대쪽에서 크게 나타남을 알 수 있었다. AC의 크기가 클수록 혈관 파열 가능성이 큰 것으로 나타남에 따라, AC의 크기가 과도하게 큰 경우 수술적인 방법으로 크기를 줄여 줌으로써 혈관 파열로 인한 SDH를 방지하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2012-0000790)

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. 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.
3. Nahum, A., M., Smith, R., and Ward, C., C., "Intracranial pressure dynamics during head impact," Stapp Car Crash J., **50**, 509-44, 1977.
4. 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.