

척수 손상 메커니즘 해석을 위한 경부 척수의 모델화 Modeling of Cervical Spinal Cord for Analyzing Spinal Cord Injury Mechanisms

*#정태은¹

*#T. E. Chung(techung@induk.ac.kr)¹

¹인덕대학 메카트로닉스과

Key words : Spinal Cord Injury, Cervical Spinal Cord, Finite Element Analysis, MRI scan

1. 서론

척수 손상(spinal cord injury)의 원인으로 자동차 사고(47%)와 낙상(31%)이 대부분을 차지하고 있으며, 손상 부위별 분포를 보면 경추부(55%)에서 절반 이상의 손상이 발생하는 것으로 조사되어 있다(Fig. 1).¹

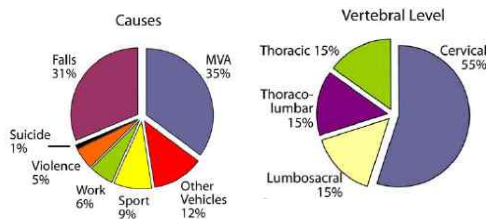
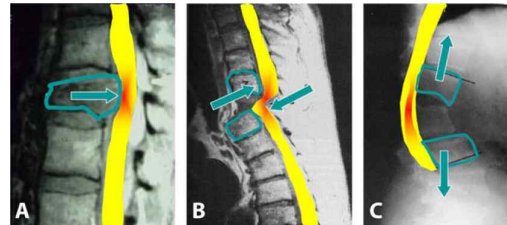


Fig. 1 Spinal cord injury epidemiology¹

따라서 경추부(cervical spine)의 척수 손상에 대한 연구가 많은 실정이다. 척수 손상의 원인을 규명하기 위해서는 척수 손상이 발생하는 메커니즘을 알아야 하며, 다양한 임상학적 실험이 이루어졌다. 전형적인 척수 손상 메커니즘(mechanism)의 모습이 Fig. 2 에 나와 있다.² 여러 조건에서의 척수 손상 메커니즘을 재현하기 위해서는 척수와 척수를 보호하기 위해 둘러 쌓여있는 주변의 생체조직을 유한요소로 모델화하여 해석하는 방법이 필요하며, 유한요소해석(finite element analysis)을 이용하여 실험 조건을 적용한 척수 손상 연구 등이 이루어졌다.³

본 연구에서는 실험용 쥐의 척수 손상 메커니즘 해석을 위한 경부 척수의 유한요소 모델화 방법과 과정을 다루었다.



(A) contusion (B) dislocation (C) distraction
Fig. 2 Spinal cord injury mechanisms²

2. 쥐의 생체조직 정보

실험용 쥐의 경추부에 대한 형상 정보는 MRI 스캔 방법을 이용하여 얻었다. 또한 해부를 통해 인대와 경막 등에 대한 상세한 정보를 얻었다. 척수 부위를 분리한 모습은 Fig. 3 과 같다.

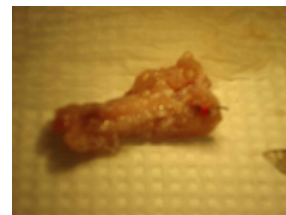


Fig. 3 Spinal cord specimen of a rat

3. 경부 척수의 유한요소 모델화

외부에서 가해지는 하중에 의한 척수 손상 메커니즘을 해석하기 위해서는 척수와 이를 둘러싸고 있는 경막(dura mater)에 대한 상세한 유한요소 모델이 필요하다. 척수는 경막과 연결되어 있는 치상 인대(denticulate ligaments)에 의해 경막에 지지되어 있다.

척수는 백질(white matter)과 주로 신경 세포와 수상돌기로 이루어진 회백질(gray matter)로 구성되어 있다. MRI 스캔으로부터 얻어진 내부의 회백질의 부피는 85.9 mm³, 회백질을 둘러싸고 있는 백질의 부피는 133.92 mm³로 측정되었다. 척수의 스캔 데이터는 3 차원 CAD 정보를 얻기 위해 stl(stereolithography) 파일로 변환되었으며 Fig. 4 에서 보는 바와 같이 46,064 개의 점들(vertices)과 92,116 개의 면들(faces)로 구성되어 있다.

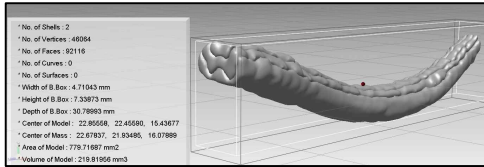


Fig. 4 Stl file information of spinal cord

척수를 구성하고 있는 회백질과 백질을 구분한 유한요소로 모델화하기 위해 역설계 프로그램인 Rapidform 을 이용하여 Fig. 5 와 같이 두 물질의 경계를 포함한 단면의 윤곽선을 만들었다. 이를 바탕으로 NURB 면(non-uniform rational basis spline surface)을 생성한 후, Fig. 6 의 척수 유한요소 모델을 생성하였으며, 이때 생성된 절점 수는 3,891 개, 유한요소 수는 5,172 개이다.

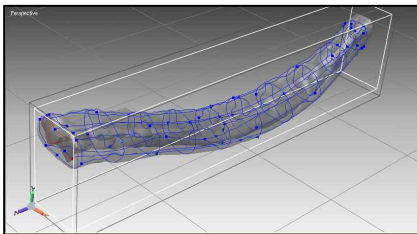


Fig. 5 Generation of cord cross section

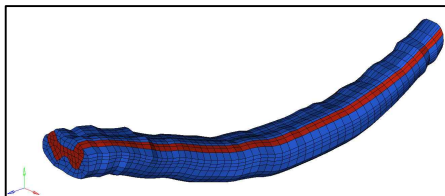


Fig. 6 Finite element mesh of spinal cord

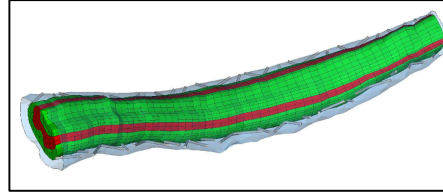


Fig. 7 Spinal cord with denticulate ligaments

한편 경막은 두께가 매우 얇아서 MRI 스캐너로부터 형상 정보를 얻을 수 없으므로, 척수의 외형 정보에서 추출한 NURB 면을 생성한 후, 셀 요소로 모델화하였다. 치상 인대에 의해 경막과 지지된 척수의 모습이 Fig. 7 에 나와 있다.

4. 결론

MRI 스캔 데이터를 이용하여 실험용 쥐의 경부 척수와 이를 둘러싼 경막, 인대 등의 생체조직을 유한요소 모델화하였다. 특히 회백질과 백질의 형상을 그대로 재현하기 위해 척수 단면을 따라 윤곽선을 추출하여 상세 모델화를 진행하였다. 추후 타박(contusion), 전위(dislocation) 등 척수 손상 메커니즘에 대한 생체 실험과 비교한 경부 척수의 유한요소 해석을 수행할 예정이다.

후기

이 논문은 인덕대학 연구비에 의해 수행된 연구입니다.

참고문헌

1. Pickett, G. E., Campos-Benitez M., Keller, J. L., Duggal, N., "Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Canada, " *Spine*, **31**, 799-805, 2006.
2. Anthony, C., "Clinically relevant mechanisms of spinal cord injury: contusion, dislocation and distraction, " a thesis of Doctor of Philosophy, 18-19, Univ. of British Columbia, 2007.
3. Jason, T. M., Zhen Q., Dimitris M., and David, I. S., "Finite element analysis of spinal cord injury in the rat," *Journal of Neurotrauma*, **25**, 795-816, 2008.