

척추고정용 형상기억합금 동적안정기기의 생체역학적 성능 평가

김윤혁*(경희대학교 테크노공학대학), 박원만(경희대학교 테크노공학대학)
김경수(국가수리과학연구소), 박형균(경희대학교 테크노공학대학)
주증우(경희대학교 테크노공학대학), 박경우(광혜병원)

Biomechanical Evaluation of SMA Dynamic Stabilization for Spinal fusion

Y. H. Kim(School of Adv. Tech., KHU), W. M. Park(School of Adv. Tech., KHU), K. Kim(NIMS),
H. K. Park(School of Adv. Tech., KHU), J. W. Joo(School of Adv. Tech., KHU) and
K. W. Park(Kwang Hye Spine Center)

ABSTRACT

In this study, a commercial fixation device, BioFlex, which was designed with shape memory alloy(SMA) for dynamic stabilization of spine was biomechanically evaluated. The finite element model of intact lumbar spine from L1 to S was developed using CT images. Also, four FE models of 2-level(L4-L5-S) and 3-level(L3-L4-L5-S) posteriori fixation using titanium(Ti) rod and BioFlex(SMA) rod. The rotations of bone segments in the intact model and four models were predicted. Although the rotations of the BioFlex fixation model were smaller than those of the intact model, they were relatively larger than those of Ti fixation. The present can be applied for not only evaluation of the stability of interbody fixator, but also development of new implant.

Key Words : Spinal stenosis(척추관 협착증), Finite element analysis(유한요소 해석), Lumbar spine(요추), Dynamic stabilization(동적 안정기), Shape memory alloy(형상기억합금)

1. 서론

고령화 사회로 진입하면서, 척추의 퇴행성 변화로 인한 척추관 협착증 환자가 증가하고 있다. 치료 방법으로는 안정, 약물 치료, 물리 치료, 보조기 등의 보존적 치료법과 감압술 및 골 이식에 의한 유합술, 기구 고정술에 의한 유합술 등의 수술적 치료법이 있다[1].

척추 고정술은 척추의 불유합 가능성이 낮고, 운동 가능한 추체를 보호할 수 있는 장점으로 인하여, 수술적 방법으로 사용되는 일반적인 치료법이다. 하지만 최근 연구에 의하면, 척추 고정술에 의한 시술 부위의 과도한 강성은 인접분절의 추간판에 손상을 가한다고 한다. 동적 안정기기는 이러한 척추 고정술의 약점을 해결하기 위해 고안된 장치이다[2].

동적 안정기기는 그 재질에 따라 강성에 큰 차이를 보인다[2]. 국내에서는 형상기억합금을 사용한 제품(BioFlex)이 동적 안정기기로 개발되었다. 본 연구에서는 유한요소 해석 방법을 이용하여, 기존의 티타늄 안정기기와 BioFlex 안정기기에 의한 척추 고정술의 안정성에 대하여 강성 해석을 수행하고, 제품의 성능을 평가하였다.

2. 유한요소 모델링

2.1 정상 척추의 유한요소 모델 개발

척추에 병변이 없는 남성의 사체를 1mm 간격으로 촬영한 CT 영상을 바탕으로 3 차원 영상을 제작하고, 이를 이용하여 제 1 요추에서 천추(L1-S)까지의 흉요추부 유한요소 모델을 개발하였다.

추체는 해면뼈를 중심으로 결절뼈가 둘러싸고 있으며, 추체의 상하부에는 연골 종판이 놓여져 있다고 가정하였다. 또한 각각의 추체 후면돌기 부분은 3차원 비선형 면접촉의 연골로 모델링하였다.

추간판은 수핵을 중심으로 안쪽과 바깥쪽에 트러스 구조의 섬유륜을 가진 다섯 겹의 추간판 고리로 구성하였고, 섬유륜은 수평면에 대하여 평균 30도의 각도를 이루며 오직 인장하중에만 반응을 하는 케이블 요소로 개발하였다. 또한 추간판의 섬유륜과 마찬가지로 인장에 대해서만 작용하는 케이블 요소로 각각의 척추 분절에서 7개의 인대를 모델링하였다.

2.2 안정기기가 삽입된 유한요소 모델 개발

개발된 정상 척추 모델에 삽입할 티타늄 안정기기와 BioFlex 안정기기, 척추경 나사, Expandable Cage를 유한요소 모델로 제작하고, 2-level(L4-L5-S)과 3-level(L3-L4-L5-S) 척추 분절에 각각 티타늄과 BioFlex 안정기기를 이용하여 척추고정술을 시술한 모델(2level_Ti, 2level_BioFlex, 3level_Ti,

3level_BioFlex)을 개발하였다. 모델 개발에 이용한 각각의 물성치는 기존 연구 내용을 참고하였다[3].

4개의 모델 모두에서 L5-S 분절의 추간판을 완전히 제거한 뒤 Expandable Cage를 삽입하고, 앞세로인대만을 남기고 모든 인대를 제거하였다. 그리고 척추 고정술이 시술된 다른 분절에서는 앞세로인대와 뒤세로인대만을 남기고 모든 인대를 제거하였다.

Fig. 1은 각각 티타늄(a)과 BioFlex(b) 안정기기를 이용하여 척추 고정술을 시술한 모델이다.

2.3 강성해석

척추의 하단부를 완전히 고정한 후, L1의 상단에 10Nm의 굽힘, 인장, 비틀림 우력과 3Nm의 측면 굽힘을 가하고 상용 유한요소 해석 소프트웨어인 ABAQUS version 6.5 (ABAQUS Inc., USA)를 사용하여 각 하중에 대한 각 분절의 회전 각도를 측정하였다. 이 때, 강성은 회전 각도에 반비례한다고 하겠다.

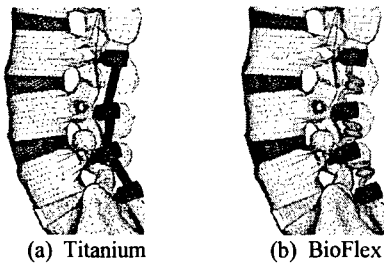


Fig. 1 Finite element models of posterior spinal fixation with Titanium implant(a), BioFlex(SMA) implant(b)

3. 결과

정상 척추 모델(intact)과 척추 고정술을 시술한 4개 모델의 굽힘, 인장, 비틀림 우력, 측면 굽힘 하중에 대한 각 분절의 회전 각도 결과를 Fig. 2에 정리하였다. 이 때 척추 고정술을 시술한 모델의 회전 각도는 정상 척추 모델의 전체 변형 값을 고려하여 환산한 결과이다.

척추 고정술이 시술된 4개의 모델에서 4가지 하중 조건에 대한 각 분절에서의 변형정도는 전반적으로 정상 모델에 비해 매우 작았다. 그러나 BioFlex 안정기기를 사용한 경우에는 티타늄 안정기기의 경우보다 상대적으로 변형 각도가 컸으며, 몇몇 분절에서는 정상 모델과 비슷한 값을 나타내었다.

또한 척추 고정술이 시술된 모델의 시술 부위가 아닌 분절에서는 4가지 하중 조건에서 모두 정상 모델보다 더 많은 변형을 보였다. 하지만 티타늄 안정기기가 삽입된 모델보다 BioFlex 안정기기가 삽입된 모델의 경우 변형이 정상 모델에 가깝게 나타났다.

4. 고찰 및 결론

BioFlex 안정기기를 이용한 척추 고정술 모델의 경우 기존의 티타늄 안정기기를 이용한 척추 고정술 모델에 비해 시술 부위의 분절과 시술 부위가 아닌 분절에서 모두 변형이 정상 모델에 가까웠다. 따라

서 티타늄 안정기기를 이용한 척추 고정술과 BioFlex 안정기기를 이용한 척추 고정술을 비교하였을 때, BioFlex 안정기기를 이용한 시술의 동적 안정성이 더욱 우수할 것으로 생각되며[4], 본 연구의 결과를 이용하여 동적 안정성을 최적화하는 척추 고정술용 안정기기를 개발할 수 있을 것이다.

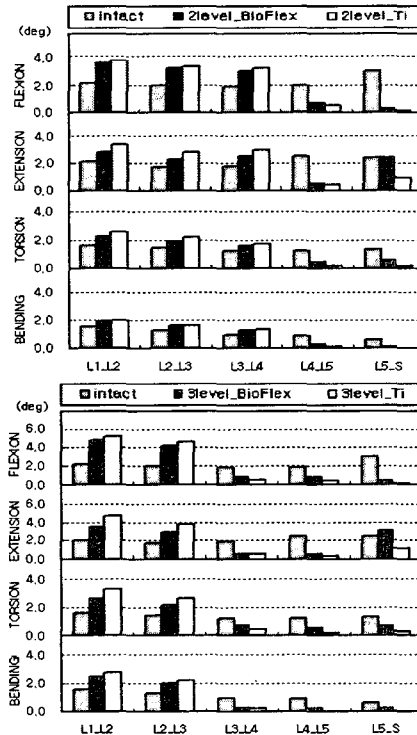


Fig. 2 Rotation of lumbar spine

감사의 글

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-003-D00492).

참고문헌

1. 대한정형외과학회: 정형외과학, 최신의학사, 1999
2. Goto K., Tajima N., Chosa E., Totoribe K., Kubo S., Kuroki H., Arai T., "Effects of lumbar spinal fusion on the other lumbar intervertebral levels", J Orthop Sci, pp 577-84, 2003.
3. Natarajan R.N., and Andersson GBJ., "The Influence of Lumbar Disc Height and Cross-Sectional Area on the Mechanical Response of the Disc to Physiologic Loading", Spine, Vol 24, pp 1873 - 81, 1999.
4. Schmoelz W., Huber J.F., Nydegger T., Dipl-Ing, Claes L., and Wilke H.J., "Dynamic Stabilization of the Lumbar Spine and Its Effects on Adjacent Segments", Journal of Spinal Disorders & Techniques, Vol 16, pp 418 - 3, 2003.