

척추 유합술 후, 인접 분절의 스트레스에 대한 척추경 나사못에 대한 영향

강경탁[†], 전흥재* · 손주현* · 김호중**

The Change of Biomechanical Milieu after Removal of Instrumentation in Lumbar Arthrodesis Stiffness of Fusion Mass: Finite Element Analysis

Kyoung-Tak Kang[†], Heoung-Jae Chun*, Ju-Hyun Son*, Ho-Joong Kim**

Key Words: Finite Element Analysis(유한요소해석), Fusion mass(유합술), Pedicle Screw(척추경 나사못), Spine(척추)

Abstract

Since the advent of pedicle screw fixation system, posterior spinal fusion has markedly increased. This internal fixation system has been reported to enhance the fusion rates, thereby becoming very popular procedure in posterior spinal arthrodesis. Although some previous studies have shown the complications of spinal instruments removal, i.e. loss of correction and spinal collapse in scoliosis or long spine fusion patients, there has been no study describing the benefit or complications in lumbar spinal fusion surgery of one or two level.

In order to clarify the effect of removal of instruments on mechanical motion profile, we simulated a finite element model of instrumented posterolateral fused lumbar spine model, and investigated the change of mechanical motion profiles after the removal of instrumentation.

1. 서 론

척추경 나사못이 개발된 후, 후방 척추 유합술은 급격히 증가해 왔다. 척추경 나사못은 유합률을 증대시키는 것으로 보고되어 왔고, 그에 따라 후방 유합술 시 통상 같이 사용되어져 오고 있다. 그러나 이러한 척추경 나사못은 유합률을 높여주고 수술 후에도 별도의 고정 기간이 필요 하지 않다는 장점에도 불구하고, 인접 분절의 퇴행성 변화를 더 쉽게 가져올 수 있다는 점이 심각한

합병증 중의 하나로 보고되어 지고 있다.

금속물 고정에 따른 초기 강도의 증가가 이러한 인접 분절에 퇴행성 변화를 더 잘 오게 하는 요인으로 생각 되어져 오고 있다. 이전의 많은 연구들에서 척추경 나사못을 사용한 유합술의 경우 인접 분절의 변화가 더 쉽게 오는 것으로 보고되고 있으며[1] 이와 달리 Pneta와 Wai 등은 기구의 사용 없이 전방 유합술을 사용하여, 인접 분절의 퇴행성 변화가 촉진 되지 않음을 보고한 바 있다[2,3].

저자는 척추경 나사못이 인접 분절의 퇴행성 변화의 위험을 증가시킨다면, 성공적인 유합을 이룬 후에 기구를 제거하는 것이 전체적인 요추의 생역학적 변화를 가져올 수 있다고 가정하였으며, 이러한 변화는 유합술에서 인접 분절의 퇴행성 변화의 발생율을 감소시키는 결과를 가져올 것이다. 몇몇의 이전 연구논문들이 금속 고정물을 제

† 연세대학교 기계공학과

E-mail : tagi1024@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4827 FAX : (02)324-6784

* 연세대학교 기계공학과

** 연세대학교 의과대학 정형외과학교실

거하였을 경우의 합병증에 대하여 보고하고 있으나, 하나 혹은 두 분절에서 요추 유합술에서의 기구 제거에 따른 득과 실은 아직 연구된 바가 없다[4].

이를 위해 저자들은 기구를 사용한 요추 후측방 유합술의 유한요소모델을 개발하였으며, 기구를 제거한 후의 모델 또한 만들었다. 그리고 이러한 두 모델 사이의 생역학적 변화를 비교 분석하였다. 나아가 인접 분절에서의 디스크 스트레스와 운동각 측면에서 유합과의 이상적인 수술방식을 추론하였다.

2. 본 론

2.1 연구 대상

본 연구에서 연구대상은 29살에 남자였으며, 병력 조사에서는 골대사성 질환이 없고, 골 대사에 영향을 미칠 수 있는 약물을 복용한 일이 없고 외상의 병력이 없는 사람으로 하였다.

2.2 연구 방법

본 연구에서는 기하학적, 구조적 복잡성을 최대한 실제와 가깝도록 모델링 하였다. 먼저 29살 남자의 지오메트리 데이터를 얻기 위해 각 슬라이스의 간격을 3mm로 CT 스캔을 찍었다. CT 데이터를 3차원 데이터로 모델링하기 위하여 3차원 이미지 프로그램 전문 프로그램인 Mimics를 이용하여 3차원 데이터의 지오메트리를 얻을 수 있었다. 이 때 변환된 요추의 기하학적 데이터는 인체의 정중 시상면(mid-sagittal plane)을 중심으로 대칭이 되도록 하였다. 또한 척추체와 신경 인대조직을 비롯한 복잡한 형상의 Mesh 작업은 HyperMesh 8.0을 이용하였고, 유한요소 해석 모델링과 해석결과의 처리로는 상용패키지 ABAQUS 6.5를 사용하였다.

2.3 3차원 모델의 구현

척추체의 해면골 부분과 후방요소는 서로 물성치가 다르며 10절점 테트라 요소들로 구성시켰으며 이 요소들은 균일하고 방향성이 없다고 가정하였다. 특히 후방요소 해면골의 분포는 측정대상에 따라 매우 다양한 형태를 보이기 때문에 후방요소 전체를 균일한 물성치를 갖는 물질로 단

순화 하였다. 추체의 피질골은 1mm 요소로 모델링 하였으며 각각 10절점의 테트라 요소로 구성하였다. 후관절 사이에는 각 관절 간에 Surface to surface contact을 부여하여, 후관절 면의 안쪽에 위치한 연골층의 생리학적 특성을 모방 하고자 하였다. 개발된 각각의 추체 사이에는 추간판이 삽입되었다. 추간판은 Shirazai-Adl 등[5] 이 구축한 척추 모델 이 후, 여러층의 섬유륜(cnnulus fibrous)을 포함한 기저물질(gorund substance)과 무점성의 비압축성 수핵으로 구성하는 것이 일반적인 방법이였으나, 최근 발표된 Guan[6]의 척추모델 유효화 모델이 Shirazai-Adl의 모델보다 모델의 유효화에 있어서 더욱 좋은 유효화를 보였기 때문에 Guan의 모델과 마찬가지로 섬유륜과 수핵을 모두 고탄성(hyper-elastic) 특성에 맞추어 모델링 하였다. 본 연구에 사용된 요추 모델은 일곱 개의 주요인대(전방 종인대, 후방종인대, 황인대, 횡돌기간 인대, 극상건인대, 극간인대, 척추후관절낭)를 고려하여 구현되었다. 각각의 인대들은 문헌을 참고하여 해부학적으로 적절한 위치의 척추체에 연결하여 그림 1과 같은 정상요추(L2-L5)의 유한요소 모델을 완성하였다.

인대들의 고탄성(hyper-elastic) 특성에 따라, 2차원 다발 요소로 요소망을 생성하였으며, 인대들의 생리학적 비선형 특성과 동일하게 변형이 커짐에 따라 탄성계수가 증가하도록 설정하였다. 여러 인대들의 단면적과 물성치는 다른 논문의 실험데이터를 참고하였다.

2.4 시술된 요추의 유한요소모델 구현

본 연구에서는 척추 후방에 삽입되는 척추경

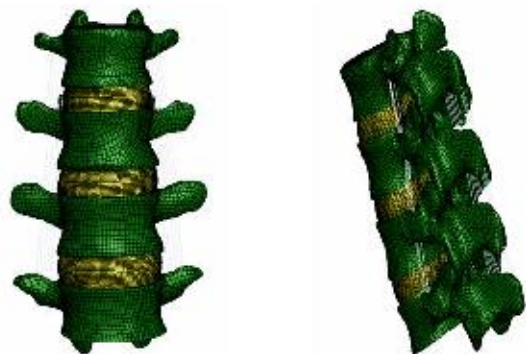


Fig. 1 Finite element model

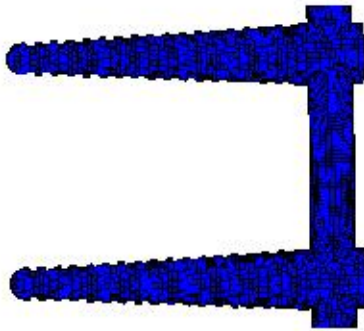


Fig. 2 Schematic drawing of implant

나사못은 Stryker 사의 제품을 사용하였으며, 척추경 나사못은 직경 6mm의 Xia Titanium(110:GPa) 재질로 일반적인 나사의 형태로 디자인 되었다. 구현된 정상 척추모델의 제 3요추와 제 4요추의 척추경에 나사못이 삽입되었다. 척추경 나사못은 임상적으로 가장 흔히 사용되는 Inward method[7]로 삽입하였다. Inward method란 상관절 돌기 외연을 지나는 중축과 횡돌기를 양분하는 횡축이 만나는 점에서 시작하여 척추경의 축을 따라 삽입하는 방법이다. 그림 2는 본 연구에서 상용된 척추경 나사못의 유한요소 모델을 보여준다.

2.5 유한요소 해석의 적용

3차원 유한요소해석을 이용한 다양한 척추 감압술 후, 요추 거동 및 추간판의 스트레스 증가율을 알기 위해 상용패키지 프로그램인 ABAQUS 6.5를 사용하였다. 각 3차원 요소의 Element type은 C3D10 요소를 사용하였으며, 각 형상에 따른 모델의 유효화를 위하여 인대조직은 Truss element를 사용하였다.

2.5.1 해석대상 및 재질특성

해석에 사용된 척추체, 추간판, 인대조직, 신경은 동질성과 등방성을 또한 물체는 선형탄성변형을 하는 것으로 가정하였다. 본 연구에 이용된 재료들의 물성 값은 Table 1과 같다.

2.5.2 유한요소 모델의 경계조건

본 연구에서 사용된 척추의 각 모델별로는 제 5요추의 하중판을 고정시킨 상태에서 제 2요추의 상중판에 예비 압축하중 400N을 가하고, 10Nm의

굴곡(flexion) 모멘트를 적용하였다.

Table 1 The material properties specified in the finite element models.

Component	No. of elements	Young's modulus E (MPa)	Poisson ratio ν	Cross-section (mm ²)
Cortical bone	2752	12,000	0.8	
Cancellous bone	2060	100	0.2	
Posterior elements	2868	8,500	0.25	
Nucleus pulposus	4208	1.0	0.499	
Annulus	5155	Hyperelastic material	Hyperelastic material	
Ligaments	241	7.8($\epsilon < 12\%$) 20($\epsilon > 12\%$)	Stiffness (N/mm) - L5-S1 level	68.7
Anterior longitudinal	36	10($\epsilon < 11\%$) 20($\epsilon > 11\%$)		20.0
Posterior longitudinal	36	15($\epsilon < 6.2\%$) 19.5($\epsilon > 6.2\%$)		40.0
Ligamentum flavum	20	10($\epsilon < 18\%$) 58.7($\epsilon > 18\%$)		1.8
Capsular	86	7.5($\epsilon < 25\%$) 32.9($\epsilon > 25\%$)		30.0
Interspinous	15	10($\epsilon < 14\%$) 11.6($\epsilon > 14\%$)		40.0
Supraspinous	9	8($\epsilon < 20\%$) 15($\epsilon > 20\%$)		30.0
Inter-transverse	39	8500		

3. 결과

본 연구에서 사용된 척추체의 유한요소 모델은 이전에 우리가 발표한 논문에서 이미 유효화 하였다[8]. Table 2에서는 후방 척추 나사경 유합술 모델과 나사경을 제거한 모델의 각 분절별 운동범위를 보여준다.

위의 결과를 보면 알 수 있듯이 척추경 나사못 모델이 나사못을 제거한 유합 모델보다 시술부위에서는 운동범위가 줄어 들기 시술이 이루어 지지 않은 분절에서는 더욱 커지는 것을 알 수 있었다. Table 3은 후방 척추 나사경 유합술 모델, 그리고 나사경을 제거한 모델의 응력증가율을 보여주고 있다. 위의 결과를 보면 알 수 있듯이 추경 나사못 모델이 나사못을 제거한 모델이 제거하지 않은 모델보다 응력이 적음을 알 수 있다.

Table 2 Comparisons of ranges of motions in the fusion and implant

		L2-L3 (degree)	L3-L4 (degree)	L4-L5 (degree)
Flexion	Fusion model	5.3	2.1	8.2
	Pedicle screw & fusion model	5.7	1.7	9.1

Table 3 Comparisons of stress increase in the disc fusion and implant

		L2-L3 (percentage)	L3-L4 (percentage)	L4-L5 (percentage)
Flexion	Fusion model	15	-2	16
	Pedicle screw & fusion model	18	-4	21

4. 결 론

척추경 나사못은 인접 분절의 조기 퇴행성 변화의 중요한 원인 중 하나일 것으로 생각되어져 왔으나 아직 생역학적으로 척추경 나사못이 없는 척추 유합술과 직접 비교 분석된 적은 없었다. 그 이유는 이러한 유합 모델이 기존의 사체 실험으로는 구현하기 힘들기 때문이다. 따라서 저자들은 유한 요소 모델을 이용하여 두 모델 (척추경 나사못을 사용한 유합 모델과 척추경 나사못이 없는 유합 모델)을 비교 할 수 가 있었다.

이번 실험의 결과가 말하듯이, 척추경 나사못의 유무에 따라서 일정한 모멘트에서의 추간판의 스트레스에서는 큰 차이가 없었으나, 인접 분절의 운동 범위에서는 차이를 보였다. 이러한 운동 범위의 차이가 역학적인 load의 증가와 연관이 있을 것으로 생각되어지고 또한 이것은 조기 퇴행성 변화의 원인이 될 수 있을 것으로 생각되어 진다. 하지만 이러한 운동 범위의 증가의 궁극적인 의미에 대해서는 새로운 Cyclic load에서의 모델의 분석이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

(1) Bono, C. M. and Lee, C. K., 2004, "Critical

analysis of trends in fusion for degenerative disc disease over the past 20 years: influence of technique on fusion rate and clinical outcome.", *Spine*, Vol. 29, No. 4, pp. 455~63.

(2) Penta, M., Sandhu, A. and Fraser, R. D., 1995, "Magnetic resonance imaging assessment of disc degeneration 10 years after anterior lumbar interbody fusion.", *Spine*, Vol. 20, pp. 743~747.

(3) Wai, E. K., Santos, E. R., Morcom, R.A. and Eraser, R. D., 2006, "Magnetic resonance imaging 20 years after anterior lumbar interbody fusion.", *Spine*, Vol. 31, No. 17, pp. 1952~1956.

(4) Deckey, J. E., Court, C. and Bradford, D. S., 2000, "Loss of sagittal plane correction after removal of spiral implants.", *Spine*, Vol. 25, No. 19, pp. 2453~2460.

(5) Shirazi-Adl, S. A., Shrivastava, S. C. and Ahmed, A. M., 1984, "Stress analysis of the lumbar disc-body unit in compression. A three-dimensional nonlinear finite element study", *spine*, Vol. 9, No. 2, pp. 120~134

(6) Guan, Y., Yoganandan, N., Zhang, J., Pintar, F., Cusick, J., Wolfla, C. E. and Maiman, D. J., 2006, "Validation of a clinical finite element model of the human lumbosacral spine", *Medical & biological engineering & computing*, Vol. 44, No. 8, pp. 633~641.

(7) Aebi, M., Etter, C., Kehl, T. and Thalgott, J., 1998, "The interanal skeletal fixation system; new treatment of thoracolumbar fractures and other spinal disorder", *Clin. Orthop.*, Vol. 227, pp. 30~43

(8) Kim, H. J., Chun, H. J., Kang, K. T., Lee, H. M. and Moon, S. M., 2008, The International Society for the Study of the Lumbar Spine, 141