

L4-L5 디스크 수핵 제거에 따른 디스크 거동 변화 및 유체충진 수핵 유한요소 모델의 내압 설계

A study on the mobility of postnucleotomy on L4-L5 discs & design of the fluid flux FE model

*이태경¹, #홍정화¹, 김은영¹,

*T. K. Lee¹, #J. H. Hong(Hongjh32@korea.ac.kr)¹, Y. E. Kim¹

¹ 고려대학교 제어계측공학과

Key words : Lumbar spine, Nucleus, Nucleotomy, FEM, Artificial disc replacement, Intervertebral discs

1. Introduction

요통은 가장 발병률이 높고, 치료와 생산력 저하 등 직·간접적으로 경제적 부담이 큰 질환중 하나이다. 대한통계 보도자료(2001~2010)에 의하면 최근 10년간 척추관련 병증이 4배 이상 증가한 것으로 나타났다. [1] 요통은 여러 가지 원인에 의해 야기되며, 이에 대한 정형 외과적 시술로서 추간판 절제술, 수핵 성형술, 척추 유합술, 인공디스크를 이용한 삽입술 등이 시행되고 있다. 이러한 시술들 중 인공디스크를 이용한 삽입술 시행에 있어, 현 단계의 고체형 인공디스크는 여러 단점이 있어 기존의 디스크 시술에 비해 장점이 거의 없는 반면, 재수술이 불가능한 큰 단점이 존재한다. 따라서 기존 시술과 달리 디스크를 둘러싸는 섬유륜(annulus fibrosus)의 손상을 최소화하고 병변이 되는 디스크 수핵(nucleus pulposus)을 치료하는 미세 침습적 시술방법이 각광을 받고 있으며, 디스크 수핵제거(nucleotomy) 및 안정화에 따른 연구논문 또한 많이 발표되고 있다. [2] 본 연구에서는 유한요소기법을 이용한 디스크 수핵 제거 전후의 거동과 신선사체를 이용한 실험결과와 비교하여 최적의 유체형 인공디스크 수핵의 내압 확보 및 L4-L5 요추디스크의 거동 및 특성을 연구하는데 있다.

2. Method

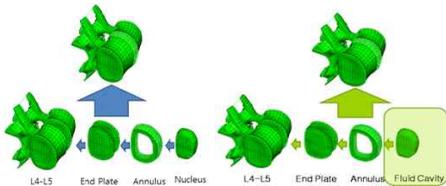


Fig 1. Reference model & Fluid flux model

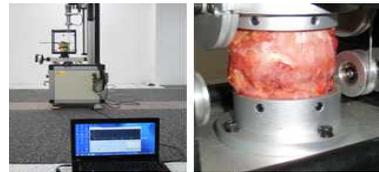


Fig 2. L4-L5 specimen for nucleotomy & mounted with spine tester. the axial force was applied by loading apparatus.

2.1 Specimens, preparation and in-vitro experiment

4구의 신선사체 L4-L5 요추 분절(48세~59세)을 이용하여 400N의 축하중을 부여하여 실험을 실시하였다. (Fig 2) 실험에 사용될 L4-L5요추분절은 -17°C이하에서 냉동 보관하였으며, 실험 전 해동을 하여 진행하였다. 디스크 수핵(nucleus pulposus)의 제거는 L4-L5요추 분절의 후방접근을 기준으로 하였다. 3mm직경의 바이옵시펀치(biopsy punch)를 이용하여 섬유륜 좌측 후방에 구멍을 뚫고, 피튜어터리 론저(pituitary rongeur)를 이용하여 수핵(nucleus pulposus)제거를 하였다. 하중은 PID제어를 통하여 목표 하중 값을 유지하는 형태로 부여되었으며, 400N의 하중을 부여하였다. 실험을 실시하는 동안 요추 분절의 건조를 방지하기위하여 거즈로 요추 분절을 덮고 수분을 충분히 공급하였다. 부여 하중에 따른 요추 분절의 높이변화는 5mm크기의 마커를 이용하여 3차원 모션 분석장비(3D motion analysis)와 위치좌표 계산을 위한 소프트웨어(EVART)로 움직임을 측정하였다.

2.2 FE model analysis

실제 요추의 거동을 표현하기 위한 기준 요추 모델로부터 인공디스크 수핵 치환 모델을 구현하기 위하여 기준 수핵부를 치환하여 유체 충전 수핵 모델(Fluid flux model)을 생성하였다.(fig.1) 유체가 유입되는 수핵 부분은 수핵(Fluid cavity) 중심부에 기준점(reference node)를 중심으로 유체 유입이 가능하도록 제작되었다. 본 모델은 유체 유입에 따른 유체 내압측정이 가능하며, 인공디스크 수핵 제작 후 시술에 필요한 내압설정을 위한 모델로서 제작되었다. 기준모델 및 유체충진 수핵 모델의 경계조건으로는 L5 하단의 종판(endplate)을 6자유도 구속하고 L4 상단의 중심 절점에 하중을 부가 하였다. L4 상단의 절점(node)들은 중심 절점과 기구학적 구속(kinematic coupling)을 통해 구속되었으며, 하중은 선행조사에 근거하여 상체의 무게를 고려한 400N의 축방향 하중을 적용하였다. 유체 충전 인공 수핵으로 치환된 척추 모델의 설계변수는 단일 변수로써 유체충진(fluid flux)에 의한 압력이다. 단일 변수이므로 최적설계의 적용은 불필요하므로 3종의 유체유입(fluid flux)에 대한 결과로부터 유체 fluid flux-변위 관계식 마련하였으며, 이를 통해 기준 모델과 유사한 변위관계를 갖는 fluid flux와 유체 압력 결과 도출하였다.(Fig 3)

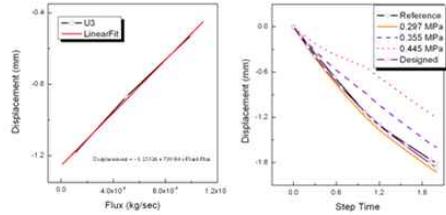
3. Result and Discussion

실험을 통한 L4-L5 요추분절 하중부여에 따른 디스크의 높이변화는 하중을 부여하지 않았을 때 수핵 제거 전과 비교하여 각각 -0.90024mm, -0.81841(mm),-0.31043(mm), -0.586005(mm)로써 평균 -0.65377(mm) 낮아진 것으로 나타났으며, 400N의 축하중 부여 시 각각 -1.4029(mm), -1.3104(mm), -1.7412(mm), -1.132(mm)로 평균 -1.3966(mm) 낮아졌다.(Table 1) 평균값을 고려할 때 유한요소 해석을 통하여 얻어진 수핵 제거 후 축하중 부여 시뮬레이션 결과 -1.1288(mm)와 거의 유사함을 확인할 수 있다.

유체충진 인공수핵 치환 유한요소모델에서 3종의 유체 유입량(fluid flux)에 대한 결과로부터 각각의 수핵 내압의 변화는 0.297(MPa), 0.355(MPa), 0.445(MPa)로 나타났으며 기준 모델과 동일한 거동을 보이도록 적정내압을 얻기 위해 유체 유입량을 linear fitting을 통하여 위 결과로부터 얻어내어 해석을 수행한 결과 적정 내압 0.30536(MPa)을 얻을 수 있었다.

Table 1. Disc height changes on experiment

Specimen No.	Compression(400N)	
	Remove nucleus(mm)	
	0N	400N
1	-0.90024	-1.4029825
2	-0.81841	-1.310432
3	-0.31043	-1.74126
4	-0.586005	-1.132
average	-0.65377	-1.39667



(a) Fluid flux vs. Displacement (b) Displacement of loading point

Fig 3. Relation between displacement and fluid pressure, results of displacement

4. Conclusion

본 연구에서는 L4-L5 디스크 수핵 제거 후 하중 부여에 따른 높이 변화를 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하고, 유체형 인공디스크 수핵 제작시 필요한 적정 내압을 획득하였다. 이전의 연구를 통하여 공극탄성 인공디스크 수핵 모델의 물성치를 획득한 바 있으나, 제어가 용이한 유체형 인공디스크를 선택하고 연구를 진행하였다. 유한요소 기법을 이용하여 얻어진 수핵 내압을 바탕으로 시제품의 시험 시에 활용 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부와 보건복지부)의 재원으로 한국 연구 재단과 보건 복지부의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업 임(No.2012-0000790, No.R0909303).

Reference

- 1.“2010 상반기 건강보험 주요통계발간”, 건강보험정책연구원 통계분석팀. 2010.8.26. 보도자료.
2. Hans-Joachim Wilke, Ph.D., effect of a prosthetic disc nucleus on the mobility and disc height of the L4-5 intervertebral disc postnucleotomy, J Neurosurg(spine 2 95);208-214,2001