

요추부 추간판 퇴화에 따른 척추주변근육력의 변화 분석 Analysis of the change of paraspinal muscle forces in accordance with the disc degeneration at one level on the lumbar spine

*최혜원¹, #김영은²

*H. W. Choi¹, #Y. E. Kim(yekim@dankook.ac.kr)²

¹ 단국대학교 대학원 기계공학과, ² 단국대학교 기계공학과

Key words : disc degeneration, paraspinal muscle, lumbar spine, finite element model

1. 서론

인체의 노화로 인해 추간판(intervertebral disc)에서는 퇴행성 변화(disc degeneration)가 발생하게 되며, 한 분절의 추간판이 퇴화되면 인접 분절 추간판(adjacent disc)의 퇴화가 단계적으로 발생하게 된다[1]. 그러나 아직까지 그 원인에 대해서는 명확히 규명된 바 없다. 본 연구에서는 추간판의 퇴화로 인해 야기되는 척추 주변근육의 변화가 인접 분절의 퇴화를 유발시킬 것으로 예상하였다. 이에 대한 분석을 위하여 상체 유한요소모델과 최적화 기법을 이용하여 요추부 추간판의 퇴화로 인한 척추 주변근(paraspinal muscle)의 작용 변화와 인접 분절 요소에서의 변화를 분석하고자 한다.

2. 해석방법

본 연구는 추간판이 기계적 수용체(mechanoreceptor)의 역할을 하고, 척추 주변근이 각 운동 분절(motion segment)을 조정하여 추간판에서 발생하는 응력차이를 최소화하는 센서구동-제어 메커니즘(sensor driving control mechanism)의 작용을 한다고 가정하였다. Fig. 1 과 같이 11 종의 근육을 3 종의 표면근(superficial muscle)과 8 종의 심층근(deep muscle)으로 나누어 모델링 하였으며, 개발한 직립 자세의 정상 모델에 Table 1 과 같이 추간판 모델의 물성[2]을 적용하여 추간판 퇴화 모델(L3-L4, L4-L5, L5-S1)을 추가로 개발하였다. 유한요소모델의 친골(sacrum) 및 좌우 골반(pelvis)을 고정된 상태로 성인 남자의 상체 무게(body weight)인 400 N 을 상체 무게 중심(trunk mass center)에 적용하였으며, 상체 무게 중심점이 일정한 범위 내에만 있도록 제한 조건(constraint)을 주어 상체의 자세를 최대한 유지하도록 하였다. 기계

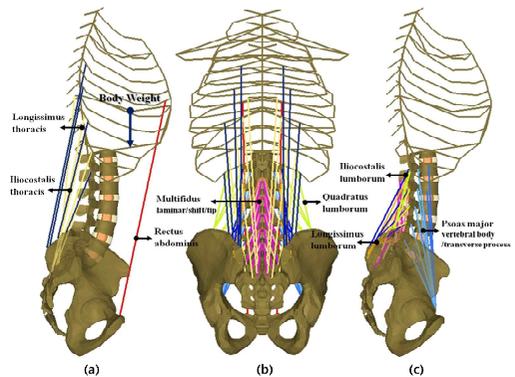


Fig. 1 Presentation of musculoskeletal FE model (a) superficial muscle (b) whole muscle (c) deep muscle

적 수용체로 제시되고 있는 요소 중[3] 추간판의 윤상인대를 선정하였다. 신경이 직접 연결되어 있는 가장 바깥층(outermost layer)의 윤상인대 섬유소(annulus fiber)의 인장력(tensile stress)을 구하고, 최적화 기법에 의해 식 (2.1) 과 같은 목적함수를 최소화시키는 방법으로 새로운 근력을 계산하였다. 이 값은 유한요소해석에 하중조건으로 재입력 되었으며, 이러한 과정은 목적함수가 수렴할 때까지 반복적으로 수행되어 최종적으로 최적화 된 근력이 얻어지게 된다. 최적화 계산을 위한 알고리즘은 유용방향법(MMFD)을 사용하였으며, 이 때 사용된 설계변수

Table 1 Material properties of intervertebral disc

	Intact Disc	Degenerated Disc
Nucleus Bulk Modulus(MPa)	2200	22
Annulus fibrosus Young's Modulus(MPa)	2.0	0.4

(design variable)의 초기값(initial value)은 실험을 통해 측정된 표면 근육의 최대 자발적 수축(MVC) EMG 신호의 15-30%로 선정하였다.

$$\min f = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (S_{t,i} - S_{t,ave})^2} \quad \dots (2.1)$$

$S_{t,i}$: tensile stress in the annulus fiber at the i-th disc
 $S_{t,ave}$: averaged tensile stress in the annulus fibers

3. 해석결과

추간판 퇴화로 인한 척추 주변근육력의 크기 변화는 Table 2 와 같이 나타났다. 퇴화 위치에 따라 심층근력이 123.4, 166.2, 125.0 N 감소하였고, 표면근력은 67.9, 73.8, 55.5 N 증가하였다. 정상 모델의 총 근육력을 기준으로 평균 15.8%, 7.5% 각각 변화되어 표면근에 비해 심층근의 근육력 변화가 2 배 이상 큰 결과를 보였다. 추간판 퇴화로 인한 인접 분절에서의 변화를 분석하기 위해 추간판의 수핵 압력과 후관절(facet joint)의 접촉력(facet contact force)을 Fig. 2 와 Fig. 3 에 나타내었다. L3-L4 퇴화의 결과로 퇴화 분절을 포함한 상위 분절(L1-L3)의 압력이 증가한 반면, 인접 하위 분절 L4-L5 의 압력은 감소하였다. L4-L5 퇴화의 경우 퇴화 분절의 압력이 감소하였고, 인접한 분절 보다 한 분절 건너편 상위 분절의 압력이 증가하였다. L5-S1 퇴화는 L1-L2 을 제외한 모든 분절의 추간판 압력이 감소하는 결과를 보였다. 퇴화 위치에 따른 후관절 접촉력은 L3-L4, L4-L5 퇴화 모델에서는 상위 분절의 후관절 접촉력이 증가하였으나, L5-S1 퇴화의 경우 L2-L4 분절의 접촉력만이 약간 증가하는 결과를 보였다.

4. 결론

본 연구의 결과를 통해 추간판의 퇴화는 척추 주변근육의 변화를 야기하고, 이러한 변화로 인하여 인접 분절 요소의 변화가 유발되는 것을 확인하였다. 표면근 보다 심층근이 더 큰 변화를 보이는 것

Table 2 Calculated muscle forces (N)

Model	Intact	Degeneration		
		L3-L4	L4-L5	L5-S1
Deep muscle	580.58	457.18	414.31	455.56
Superficial muscle	292.84	360.75	366.61	348.37
Total muscle	873.42	817.93	780.92	803.92

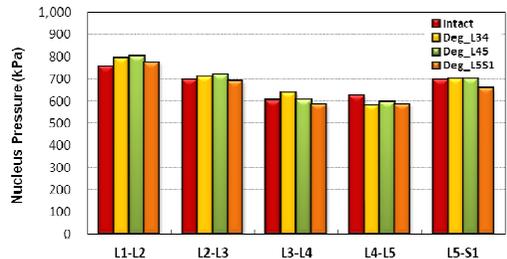


Fig. 2 Nucleus pressure for different level of disc degeneration

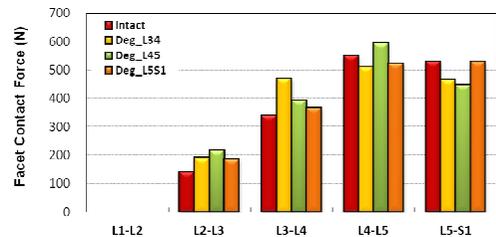


Fig. 3 Forces across a facet joint for different level of disc degeneration

으로 나타났으며, 추간판 퇴화 위치에 따라 인접분절에 미치는 영향이 다르게 나타났다. 퇴화 위치가 하위 분절로 내려갈수록 바로 인접한 분절보다는 몇 단계 위의 분절에서 압력이 증가하는 것을 알 수 있었다. 추간판의 퇴화와 척추 주변근육의 작용 변화를 좀 더 명확하게 규명하기 위해 추후 굽힘 자세에서의 해석을 진행할 예정이다.

후기

본 연구는 2012 년도 정부(교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2012-0000783)

참고문헌

- Kim, Y. E., Goel, V. K., Weinstein, J. N., and Lim, T., "Effect of Disc Degeneration at One Level on the adjacent Level in Axial Mode," *Spine*, **16(3)**, 331-335, 1991.
- van den Bos, W., van Duersen, D.L., and Kingma, I., "Non-linear behavior of the intervertebral disc, A finite element approach," *Applied Simulation and Modelling*, 2002.
- Holm, S., Indahl, A., and Solomonow, M., "Sensorimotor control of the spine," *J. of Electromyography and Kinesiology*, **12(3)**, 219-234, 2002.