

## 유한요소해석을 이용한 이형성 고관절의 선반형성술에 대한 생체역학 해석

박원만\*(경희대학교 테크노공학대학), 김윤혁(경희대학교 테크노공학대학)

### Biomechanical Analysis of the Shelf Operation for Dysplastic Hip Joint by Finite Element Analysis

W. M. Park(School of Adv. Tech., KHU) and Y. H. Kim(School of Adv. Tech., KHU)

#### ABSTRACT

The aim of this study was biomechanical analysis of shelf operation in patients with dysplastic hip joint by finite element contact analysis. Two dimensional CT images were used to construct the finite element models to analyze the contact pressure, and the 3D expansion of the Ninomiya's method was used in the calculation of the resultant force in the hip joint. The surgery recovered the center-edge angles to the normal anatomical range and increased the contact areas in two patients. The maximum contact pressures and von-mises stresses were decreased. The present study provides the biomechanical guideline of optimal surgical parameters to maximize the surgical efficiency and the clinical outcomes in dysplastic hip joint using the shelf operation.

**Key Words** : Hip dysplasia(고관절 이형성증), Finite element analysis(유한 요소 해석), Contact pressure(접촉 압력), CE-angle(CE 각), Ninomiya's method(니노미야 방법)

#### 1. 서론

고관절 이형성증은 비구 대퇴골 근위부 및 관절 연부 조직의 이상발달을 말하며 비구와 대퇴골두 사이의 역학적 변형, 형상 및 크기의 이상비율에 기인한다[1]. 고관절 이형성증에 의한 탈구를 방지하거나 부적합한 치료를 하였을 경우 대퇴골두의 무혈성 괴사, 비구 이형성 및 퇴행성 관절염 등을 초래하여 고관절통 및 파행성 보행을 유발할 수 있는 것으로 알려져있다[1]. 이러한 고관절 이형성증은 수술을 통해 고관절의 비구와 대퇴골두 상대 위치를 변화시켜 치료할 수 있다. 선반 형성술은 비구의 직상부에 골이식을 시행하여, 비구를 깊게 만들어주는 수술법으로, 재성형력이 없어진 성장기에 주로 시행되는 수술법이다.

고관절에서의 접촉압력의 분포와 최고 접촉압력은 고관절 수술의 성공여부를 결정하는 주요한 기준이 된다[2]. 때문에 고관절의 접촉압력에 대한 많은 연구가 이루어졌으나, 이들 연구에서는 대퇴골두와 비구의 형상 등을 고려하지 않았다. 고관절의 비구와 대퇴골두 사이 접촉면 결정에는 3 차원의 대퇴골두와 비구 형상 등이 고려되어야 함이 임상적으로 알려져 있으므로[3], 본 연구에서는 CT 영상을 이용하여 골반골 및 대퇴골두와 비구의 형상이 고려된 고관절 부분의 유한요소 모델링을 수행하여 고관절 이형성증 환자의 수술 전·후 접촉압력을 정량적으로 분석하였다.

#### 2. 재료 및 방법

왼쪽 고관절에 이형성 증상이 있는 두 소아의 고관절에 대하여 연구를 수행하였다. 2mm 간격으로 촬영한 CT 영상을 적층하여 3 차원의 “수술 전 유한 요소 해석 모델”을 제작하였다. 각각의 환자에 대하여 주치의에 의해 높이 27mm 와 폭 20mm, 높이 23mm 와 폭 31mm 의 선반형성술 수술 계획이 작성되었다. 작성된 수술 계획에 의거하여 “수술 전 유한 요소 해석 모델”의 비구 및 장골 형상에 변형을 가하여 “수술 후 유한 요소 해석 모델”을 개발하였다(Fig. 1).

본 연구의 해석대상인 연골에 비하여 해면골, 걸질뼈, 연골하골 등 연골 이외 부분의 강도는 상대적으로 매우 높으므로, 연골 이외 부분을 모두 걸질뼈로 가정하였다. 걸질뼈와 연골의 물성치로 탄성계수 17GPa 과 15MPa, 포아송비 0.3 과 0.45 가 각각 적용되었다. 또한, 비구와 대퇴골두의 연골은 0.02 의 마찰계수를 가지는 3 차원 비선형 접촉으로 구속하였다. 유한 요소 해석을 위하여 FEMAP(V 8.20, Electronic Data Systems Corp., USA)과 ABAQUS(V 6.5, ABAQUS Inc., USA)가 모델러와 해석 소프트웨어로 각각 사용되었다.

본 연구에서는 환자가 한쪽발로 서 있을 때의 고관절에 걸리는 접촉압력을 해석하였다. 이에 따라 관절에 걸리는 힘은 3 차원으로 확장된 Ninomiya's method[4]를 이용하여 계산하였다.

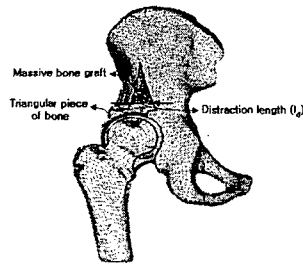


Fig. 1 Shelf operated hip joint model of LCP disease patient for finite element contact analysis

### 3. 결과

수술 전 3.4°와 8.7°의 CE 각(대퇴골두의 중심에서 비구의 측면 가장자리를 이은 선과 수직선이 이루는 각, 정상 CE 각 범위: 20-25° 이상)은 각각 44.2°와 37.4°로 개선되었다. 고관절에 걸리는 최대 응력은 환자 1 과 환자 2 에서 각각 31%와 18%, 접촉 압력은 각각 30%와 25% 개선되었다. 이러한 응력 및 접촉 압력의 개선은 선반형성술에 의해 각각 28%와 30% 증가한 접촉 면적에 기인한다. 또한 최대 접촉 압력 지점은 선반형성술에 의하여 접촉 분포 영역의 중앙에 위치하게 되었다(Table 1, Fig. 2).

Table 1. Variations of anatomic and mechanical parameters after shelf operation in two patients

		Pre-Operation	Post-Operation	
Patient 1	Anatomic parameter			
	CE angle (°)	3.4	44.2	
	Mech. parameter	Maximum von-mises stress (MPa)	0.55	0.38
		Maximum contact pressure (MPa)	2.30	1.60
Contact area (mm <sup>2</sup> )		1092.8	1399.7	
Patient 2	Anatomic parameter			
	CE angle (°)	8.7	37.4	
	Mech. parameter	Maximum von-mises stress (MPa)	1.39	1.14
		Maximum contact pressure (MPa)	6.05	4.51
Contact area (mm <sup>2</sup> )		1536.1	1994.1	

### 4. 결론

본 연구에서는 유한 요소 해석방법을 이용하여 고관절 이형성증 환자의 선반형성술 전후 대퇴골두에 대한 접촉 압력을 해석하였다. 이를 통하여 선반형성술에 의한 고관절 이형성증의 생체역학적 개선 정도를 정량적으로 분석할 수 있었다. 선반형성술은 대퇴골두와 골반의 접촉 면적을 넓혀 접촉

압력 및 응력을 감소시킴을 확인할 수 있었으며, 수술 후 최대 접촉 압력지점이 접촉 면적의 중앙에 위치함으로써 기계적으로 보다 안정적인 접촉 압력 분포를 나타내게 되었다. 본 연구의 결과를 이용하고 최적화 기법 등을 적용한다면, 제약된 범위 내에서 수행 가능한 여러 가지 수술법들 중 환자에게 가장 적합한 수술 방법을 제시할 수 있을 것이라 생각한다.

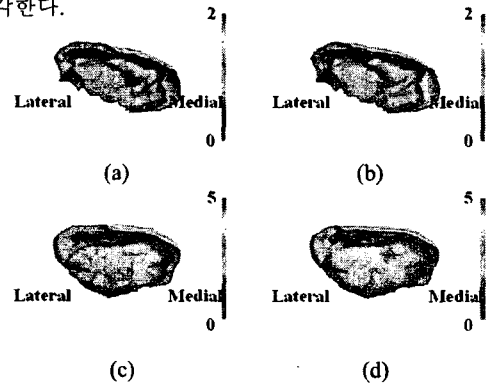


Fig. 2 Changes of contact pressure and contact area after shelf operation in two patients' femoral heads ; (a) Pre-operated model in patient 1, (b) Post-operated model in patient 1, (c) Pre-operated model in patient 2, (d) Post-operated model in patient 2

### 참고문헌

1. 정형외과학회, "정형외과학", 최신의학사, pp. 77-91, 1996
2. Iglc A., Kralj-Iglc V., Daniel M., Maccek-lebar A., "Computer determination of contact stress distribution and size of weight bearing area in the human hip joint". Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, Vol. 5, pp. 185-192, 2002
3. Pompe B., Daniel M., Sochor M., Vengust R., Kralj-Iglc V., Iglc A., "Gradient of contact stress in normal and dysplastic human hips", Medical Engineering & Physics, Vol. 25, pp 379-385, 2003
4. Genda E., Iwasaki N., Li G., MacWilliams B. A., Barrance P. J., and Chao E.Y.S., "Normal hip joint contact pressure distribution in single-leg standing effect of gender and anatomic parameters", Journal of Biomechanics, Vol.34, pp. 895-905, 2001