

강선의 인장력과 추가 Half pin이 혼성외고정장치 시스템의 안정성에 미치는 영향

김윤혁*(경희대학교 테크노공학대학), 이현근(경희대학교 테크노공학대학)
박원만(경희대학교 테크노공학대학), 오종건(이화여대 의과대학 정형외과)

Effects of Pre-tension and Additional Half-pin on Fracture Stability in Hybrid External Fixator System

Y. H. Kim(School of Advanced Technology, KHU), H. K. Lee(School of Advanced Technology, KHU)
W. M. Park(School of Advanced Technology, KHU), J. K. Oh(College of Medicine, EWU)

ABSTRACT

It is clinically well known that pre-tension of wires increases the fracture stability in ring or hybrid external fixation. In some cases, additional half pin should be necessary to increase the stability when soft tissue impalement occurs during fixation. In this paper, the fracture stability of a hybrid external fixator system with different pre-tension effects and additional half-pins was analysed using FEM to investigate the effects of these pre-tension and half pin on the system stability quantitatively. 3-D finite element models of five different fixator frames were developed using by beam elements. In axial compression analysis, the fracture stiffness was increased maximally 62% as the pre-tension increased. In torsion analysis, in the other hand, there is little variations in the fracture stiffness. Additional half pin increased the system stiffness about 200 %. From the results, proper pre-tension and additional half pin would provide good methods to increase the fracture stability of the hybrid external fixator and provide more surgical options to minimize soft tissue damage at the fracture site.

Key Words : Hybrid external fixator(혼성외고정장치), Pretension(강선 인장력), Finite element analysis(유한요소 해석), Mechanical stability(기계적 안정성), Nonlinearity(비선형 특성)

1. 서론

개방성 골절치료를 사용되기 시작한 외고정술은 현재 골절치료뿐 아니라 사지연장술 및 기형교정, 감염 및 불유합 치료에 이르기까지 사용 영역이 확대되고 있다. 혼성외고정장치는 경골 끝단에 발생한 골절치료를 널리 사용되는 외고정장치로서, 링타입 외고정장치와 단외고정장치의 복합형태를 띠고 있다. 따라서 링타입 외고정장치에 비해 상대적으로 단순한 구조를 가지며 시술이 용이하며 환자의 편의성이 증가하는 장점이 있다. 뿐만 아니라 불필요한 근육의 손상을 피할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 혼성외고정 장치의 단순한 구조는 골절부위의 기계적 안정성이 낮아지는 문제점을 발생시킨다¹⁾. 이는 혼성외고정장치의 강성이 외고정장치의 구조에 영향을 받는다고 보고된 이전의 연구들에서 이미 지적하

고 있는 바이기도 하다^{1,2)}. 이에 대해 Pugh⁴⁾ 등은 근위 골편을 두 개의 링으로 고정하는 방법만이 의미 있게 외고정장치의 강성을 증가시켰다고 보고하고 있다.

이론적으로 혼성외고정장치와 절골편을 연결시켜주는 강선의 사이각이 커질수록 외고정장치는 높은 강성을 나타낸다. 하지만, 혼성외고정장치의 강성을 증가시키기 위한 강선 사이각의 증가는 강성의 증가와 함께 연조직의 손상 위험성도 함께 증가시킨다. 강선 사이각의 감소에 따른 외고정장치의 기계적 안정성 감소와 혼성외고정장치의 단순한 구조로 인한 골절부위의 낮은 기계적 안정성을 보완하기 위하여 인장강선기술과 half pin을 외고정장치에 추가하는 기술이 사용되고 있다.

따라서 임상에서 사용되고 있는 인장강선 기술과 half pin을 외고정장치에 추가하는 기술이 혼성외고

정장치의 기계적 안정성에 미치는 영향에 대한 생체 역학적 해석이 필요하다. 혼성외고정장치의 해석에서는 하중조건, 인장강선 등의 영향으로 나타나는 비선형 특성이 고려되어야 하며 적절한 강선의 인장력을 찾기 위한 다양한 인장강선 조건에서의 혼성외고정장치의 안정성에 대한 해석이 이루어져야 한다. 그러나 기존의 혼성외고정장치의 기계적 안정성에 대한 연구에서는 강선의 인장력 변화 및 비선형 특성을 고려하지 않았다. 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 강선의 인장력 변화에 따른 외고정장치 시스템의 강성 변화 및 추가 half pin이 강성에 미치는 영향을 해석하고, 강선의 재료 비선형 특성이 혼성외고정장치 시스템의 안정성에 미치는 영향을 해석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 3차원 유한요소 해석 모델

본 연구에서 사용된 외고정장치 시스템의 유한요소 모델은 혼성외고정장치(DynaExtor[®], BK Meditech, Korea)를 대상으로 하여 범용 상용 유한요소해석 소프트웨어인 NE/Nastran[®] (NE/Nastran Inc., USA)을 이용하여 3차원 보요소(beam element)로 구성하였다(그림 1). 골편의 재료 물성치는 $E_{Bone}=3.1$ GPa, $\nu_{Bone}=0.3$, 고정환, 강선, 외고정장치의 물성치는 $E_{SS}=193$ GPa, $\nu_{SS}=0.3$ 를 사용하였다. 또한 강선의 재료 비선형에 관한 물성치로 $\sigma_y=520$ MPa, $E_2 = 96.5$ GPa를 사용하였다. 또한 인장강선을 적용하기 위하여 NE/Nastran의 단절점 제한조건(SPC), 다절점 제한조건(MPC) 등의 구속조건을 부여하였다.

본 연구에서는 모두 5개의 모델을 구성하였는데, 모델 1은 일반적인 혼성외고정장치 시스템의 구조로써 60°의 사이각을 가지는 두 개의 강선을 가지며, 모델 2와 모델 3은 이의 변형형태로써 각각 모델 1에

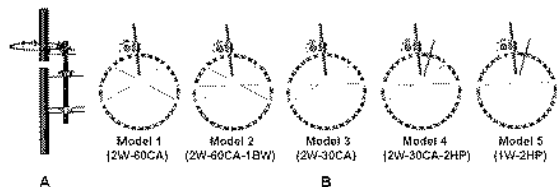


Fig. 1. The hybrid external fixator configuration analyzed in this study (A) General frame design (B) Model 1 : two wires with convergence angle of 60°, Model 2: two wires with convergence angle of 60° and additional bisecting wire, Model 3: two wires with convergence angle 30°, Model 4: two wires with convergence angle of 30° and additional anteromedial two half pins, Model 5: one wire and anteromedial two half pins

횡방향의 강선이 추가된 형태와 사이각을 30°로 줄인 형태이다. 각각의 모델은 강선의 사이각 및 형태와 인장강선에 따른 혼성외고정장치 시스템의 기계적 안정성을 확인하기 위한 모델이다.

모델 4와 5는 강선으로만 구성되었던 혼성외고정장치 시스템에 half pin이 추가된 형태로 half pin과 인장강선이 외고정장치의 기계적 안정성에 미치는 영향을 확인하기 위함이다. 각각의 모델은 30°의 사이각을 가지는 두 개의 강선이 있는 혼성외고정장치 시스템에 half pin이 추가된 모델과 횡방향 강선과 half pin으로만 구성된 모델이다.

2.2 하중 조건 및 강선 인장력

인장강선 기술을 적용하여 강선의 인장력을 0-120kg 까지 30kg씩 증가시켰다. 각각의 인장강선이 적용된 모델에서, 근위부 골편하중조건으로 상부 골편의 최하단에 100 N-600 N 까지 100 N씩 증가시켜 축방향 압축하중을 가하였다. 비틀림 하중조건은 강선의 인장력이 적용된 상태에서 각각 1 Nm - 6 Nm 까지 1 Nm 씩 증가하여 가하였다. 하중에 대한 골편 끝단의 변위와 각도를 측정하고, 하중을 변위로 나누어 값으로 정의되는 강성을 구하여 외고정장치 시스템의 안정성을 해석하였다. 본 연구에서는 축방향의 변위만을 고려하였다 골절 강성의 정의는 임상 문헌에 나오는 방법을 적용하였다⁴⁾.

2.3 해석 방법

강선의 인장력의 부여를 위하여 해석은 세단계로 구분하여 수행하였다. 첫 번째 단계는 강선 인장력을 부여하기 위한 준비 단계로써, 이 단계에서는 링의 한쪽 면을 고정된 상태에서 반대 방향으로 고정강선을 당길 때의 혼성외고정장치의 안정성을 해석하였다. 두 번째 단계는 당겨진 강선을 고정하는 단계로써 이때 고정단이 첫 번째 단계에서 잡아준 링의 한쪽 면에서 혼성외고정장치의 하단부로 내려가게 되며, 고정 강선을 당겨준 상태에서 고정시켰으므로 강선 내부에는 인장력이 존재하게 된다. 마지막 단계는 각종 하중이 부여된 상태에서 혼성외고정장치의 안정성을 해석하는 단계이다. 상부골절부위의 최하단부에 축방향 압축하중 및 비틀림하중을 부여하여 강성을 해석함으로써 혼성외고정장치의 안정성을 평가하였다.

3. 결과

3.1 축하중 해석

각각의 모델에 대하여 동일한 축방향 압축하중에서 강선 인장력의 변화에 따른 혼성외고정장치 시스

템의 기계적 안정성을 분석하였다. 강선만으로 구성된 모델 1, 2, 3에서 강선의 인장력이 증가함에 따라 혼성외고정장치 시스템의 기계적 안정성이 각각 17%~58%, 14%~62%, 8%~48% 증가하는 현상을 보였다. 그러나 half pin이 추가된 모델 4와 5에서는 각각 -6%~2%, 2%~3% 증가하는 현상을 보였다(표 1, 그림 2, 3).

Half pin이 사용되지 않은 모델 1, 2, 3에서 축방향 압축하중이 증가함에 따라 골절 강성이 증가하였다. 이는 하중 증가가 강선에서의 기하학적 비선형성에 의하여 강선의 강성이 증가하는 현상을 유발시키는 것으로 보인다. 이에 비해 모델 4와 5는 하중 증가에 따른 시스템 강성 증가가 미미함을 보였다.

Half pin이 고려된 모델 4와 5는 전체적으로 모델 1-3에 비하여 약 2배 정도 높은 골절 강성을 보여주었다.

Stiffness (N/mm)	Pretension (kg)				
	0	30	60	90	120
Model 1	35.6	37.8	40.1	42.3	44.4
Model 2	38.2	41.7	43.4	46.2	48.6
Model 3	30.9	32.2	33.5	35.1	36.3
Model 4	81.4	81.1	81.7	81.8	81.7
Model 5	76.4	77.9	77.9	78.3	78.6

Table 1. The stiffness of the hybrid external fixator in variation of pretension under 300N of axial compression

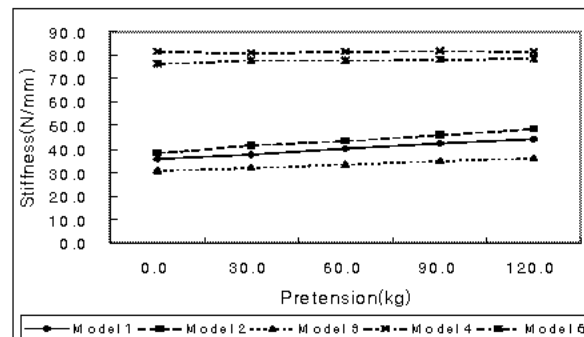
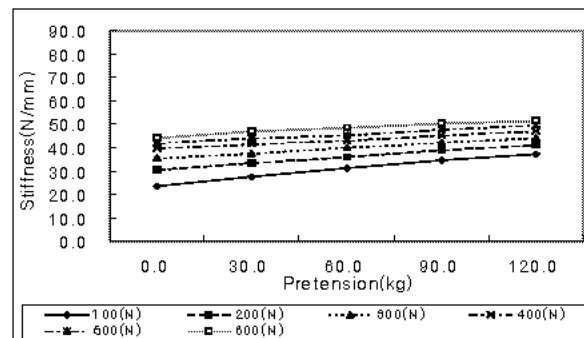
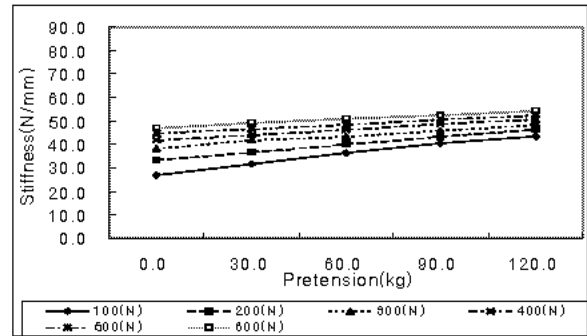


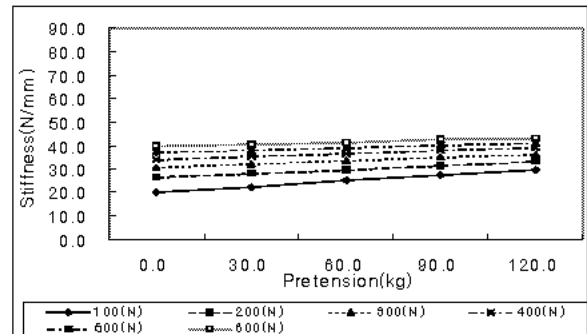
Fig. 2. The stiffness of the hybrid external fixator in variation of pretension under 300N of axial compression



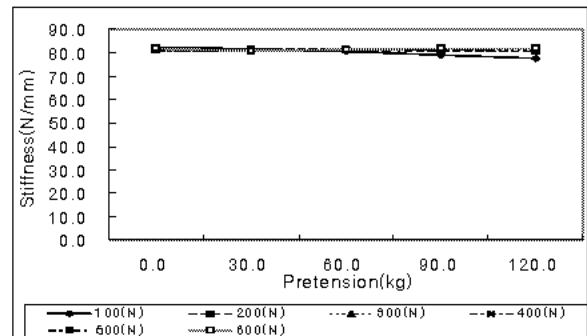
(a) Model 1



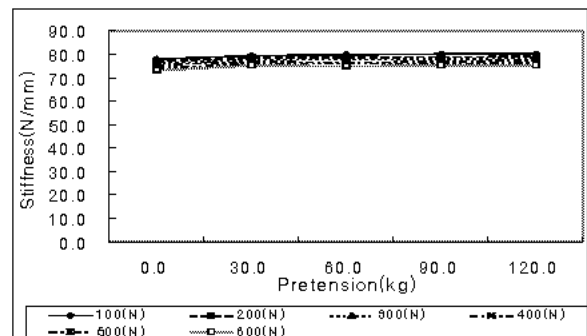
(b) Model 2



(c) Model 3



(d) Model 4



(e) Model 5

Fig. 3. Fracture stiffness for different wire pre-tensions and loads in each model

3.2 비틀림하중 해석

최대 62%의 증가를 보인 압축하중의 경우와 달리 비틀림하중의 경우 골절강성의 변화는 미미했다.

Half pin이 추가된 모델 4와 5에서 소폭 증가하는 경향을 보이고는 있다. 또한 모델 5에서 비틀림 하중으로 1 Nm를 부여했을 때 강선 인장력의 증가에 따라 강성도가 20% 증가하였으나, half pin이 추가되지 않은 모델 1, 2, 3을 포함한 전체 모델에서 큰 변화가 나타나지 않았다.

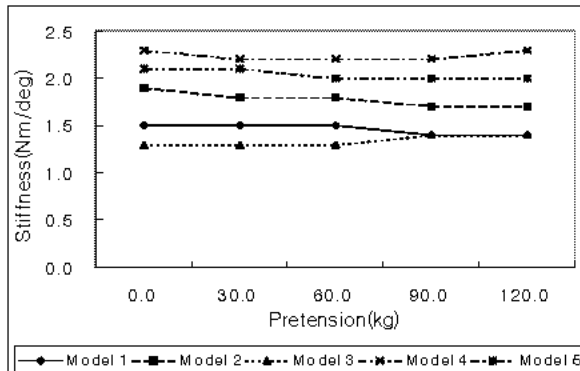


Fig. 4. The stiffness of the hybrid external fixator in variation of pretension under 3 Nm of torsion.

4. 고찰 및 결론

본 연구를 통해 임상에서 혼성외고정장치 시스템의 기계적 안정성을 높이기 위해 사용하는 인장강선 기술과 half pin 추가가 축방향 압축하중에 대하여 시스템 안정성을 높이는 것을 유한요소해석을 통하여 정량적으로 분석하였다. 그러나 비틀림 하중에 대하여는 시스템 안정성이 인장강선과 추가 half pin에 큰 영향을 받지 않는 것으로 보여졌다. 또한 시스템에 축방향 압축하중을 증가시키면 강선의 기하학적 비선형 특성에 의하여 시스템의 강성이 증가하고 따라서 시스템의 안정성이 증가하는 임상적 결과를 본 연구를 통하여 확인하였다. 따라서 본 연구 결과로 임상적으로 널리 인정되는 링타입과 하이브리드형 외고정장치 시스템의 자기안정성 증가 현상을 검증할 수 있었다.

본 연구의 결과를 이용하여 강선의 인장력을 적절히 조절하고 half pin을 추가하면 골절부위 근육조직의 손상을 피하면서도 기계적 안정성을 유지할 수 있는 다양한 외고정장치 프레임 구성에 대한 생체역학적 가이드라인을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 연구로, 비틀림 하중에 대한 인장강선 효과에 대한 보다 정밀한 연구가 필요할 것으로 보이며, 본 연구에서 다루지 않은 굽힘 하중조건을 포함한 3차원 복합하중조건에서 시스템 강성에 대한 인장강선과 하중증가의 영향을 고찰한다면 혼성외고정장치 시스템의 기계적 안정성 평가에 도움이 될 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 오종건, 정덕영, 김인수, "혼성 외고정 장치의 생역학적 특성 - 관절 골편에 고정된 Half Pin 이 강성도에 미치는 영향", 대한골절학회, Vol. 15, pp. 144-122, 2002
2. Orbay G.L., Frankel V.H. and Kummer F.J., "The effect of wire configuration on the stability of the Ilizarov external fixator", Clinical Orthopedic, Vol. 279, pp. 299-302, 1992.
3. Roberts C.S., Antoci V., Antoci V. Jr. and Voor M. J., "The accuracy of fine wire tensioners : A comparison of five tensioners used in hybrid and ring external fixation.", Journal of Orthopaedic Trauma, Vol. 18, pp. 158-162, 2004
4. Pugh K.H., Wolinsky P.R., Dawson J.M. and Stahlman G.C., "The biomechanics of hybrid external fixation", J Orthop Trauma Vol. 13, pp. 20-26, 1999