

## 흉요주부 방출성 골절의 후방 척추 고정술에서 갈고리 고정의 생체역학적 연구

조선대학교 의과대학 정형외과학교실, RUSH 의과대학 정형외과

유재원 · 임태홍

= Abstract =

### Biomechanical Evaluation on Hooks Pattern of the Posterior Constructs in an Unstable Burst Fracture Model

Jae-Won You. M.D., Tae-Hong Lim. Ph.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, College of Medicine, Chosun University, Kwang Ju, KOREA,  
Rush Medical College, Chicago, U. S. A.*

We prefer the posterior instrumentation system for the surgical treatment of the unstable burst fractures of the thoracolumbar spine. We are usually using a hooks pattern with posterior instrumentation, when we can not use a pedicle screw instrumentation in the case of an one stage operation of anterior decompression and posterior stabilization or injury of osteoporotic spine. The purpose of this study was designed to compare biomechanical flexibilities of posterior instrumentation constructs provided by hooks pattern in an unstable calf spine model.

Ten fresh frozen calf spines (T10-L4) were used for this study with an anterior and middle column defect and loaded with pure unconstrained moments in flexion, extension, axial rotation, and lateral bending directions. Testing was performed on intact specimens first and then each specimens after laminar hooks insertion and ISOLA posterior implants and any kind of graft materials or transfixation devices were not used to make the worst possible case of instability of an injured spine. Three different fixation methods were instrumented. These included: (1) 2

---

※ 통신저자: 유 재 원  
광주광역시 동구 서석동 588 (501-140)  
조선대학교 부속병원 정형외과  
Tel: (062) 220 - 3140 Fax: (062) 226 - 3379

hooks 2 levels above and 2 levels below corpectomy site in distraction modes bilaterally, (2) 2 levels above and 2 levels below hooks with one rod in distraction and the another rod in compression modes, (3) 2 levels above and 2 levels below hooks with claw hook configuration bilaterally.

The results were as follows ;

1. At the level of corpectomy site, the group I significantly reduced the motion in flexion and lateral bending ( $P<0.001$ ), but not in extension as compared to the intact specimen. The group I provided significantly less stabilization than other fixation methods in all motions ( $P<0.01$ ). The group II and III significantly reduced the motions in flexion, extension, and lateral bending as compared to the intact specimen ( $P<0.001$ ). Axial rotational motions of all fixation constructs were significantly larger than the intact specimens ( $P<0.001$ ), and the group I showed greater axial rotational motion than the groups II and III ( $P<0.001$ ).
2. At the level below corpectomy site, all fixation methods showed the reduced motion significantly in all loading modes and the stabilization was similar with each other.
3. At the level above corpectomy site, all tested fixation methods did not improve the axial rotational stability beyond the intact case, but reduced flexion, extension, and lateral bending motions significantly ( $p<0.001$ ).

In conclusion, the hooks pattern construct in distraction modes is least stable at the corpectomy and above corpectomy sites. It was showed similar stabilizing effect between the claw and compression-distraction configuration. When using hooks, the hooks should be placed in either the claw or compression-distraction configuration.

**Key Words** : biomechanics, posterior spinal instrumentations, hooks, stability, calf spine

## 서론

척추의 방출성 골절은 척추의 전주와 중간주의 손상을 말하며 이는 그 정도에 따라 불안정한 것으로 설명되어져 왔다<sup>9,15</sup>. 불안정성 방출성 골절의 치료에 대한 논쟁은 현재에도 계속되어 왔으며 척추 고정 기기를 이용한 안정술은 즉시 불안정한 척추에 안정성을 제공하고, 배열이 잘못된 척추를 교정하고, 양호한 골유합을 얻고, 환자의 재활을 증진시키는데 그 목적이 있다.

보통 신경증상이 없거나 경미한 신경손상을 동반한 방출성 골절의 경우에는 후방기기 고정술을 선호하지만<sup>1,10,12,24</sup>, 최근에는 많은 척추외과 의사들이 중등도 이상의 신경학적 손상이 동반된 방출성 골절이나 탈구인 경우 전방 감압술 및 후방 척추기기 고정술을 시행하거나 또는 골다공증이 있는 환자에서 추경 나사못 고정을 사용하기에 적당하지 못한 상황에

서 갈고리 고정 후방 기기 고정술을 사용하고 있다. 이러한 기기 고정술에 있어 기기의 구조는 손상 부위에서 최상의 안정성을 얻도록 해야 하는 매우 중요한 역할을 맡고 있다.

이러한 방출성 골절에 대한 많은 생체역학적 연구들이 있다. 이전의 연구를 보면 McAfee등은Harrington 금속봉을 이용한 신연 기기의 구조물은 척추경 나사못의 후방기기와 같은 분절성 기기와 비교하였을 때 안정성이 훨씬 낮았다고 보고하였으며<sup>14,20</sup>, 최근에는 척추경 나사못을 이용한 단분절 후방기기 고정술은 우수한 고정효과를 얻을 수 있게 되어 많이 이용되고 있으나 장기 추시 결과 정복의 소실 및 고정 기기의 파손이 특히 흉요추 이행부위에서 많이 발생하여 보조 갈고리 고정의 추가의 필요성에 대하여 보고되고 있으며<sup>5,6,8,21</sup> 또한 복미 지역에서는 흉추부에서 후방 고정기기 고정술 시에는 대체적으로 갈고리 고정 후방 기기고정술을 많이 시행하고 있다.

그래서 본 논문의 목적은 송아지 척추에서 추체 절제술을 시행하여 만든 불안정성 골절 모델에서 갈고리 고정을 이용한 후방기기 고정술의 구조물에 추체 절제 부위와 절제 부위의 윗분절과 아랫분절에서 발생하는 생체역학적 안정성 효과를 직접 비교하기 위하여 본 연구를 시행 하였다.

## 연구대상 및 방법

본 연구에서는 10개의 신선 동결한 송아지 척추를 제10 흉추에서 제4요추까지를 연구대상으로 사용하였으며 송아지에서 척추를 수확한 후에  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 보관하였으며 실험 당일에 꺼내어 녹여서 실험 전과정 동안 축축하게 유지하였으며 척추에 인대, 후관절막 및 추간판을 손상되지 않도록 보존하면서 다른 모든 연부조직을 조심스럽게 제거하였다. 제10흉추와 제4요추는 하중 부하 고정대와 하부 발침 고정대에 각각 부착하였으며 모든 실험은 실온에서 실행하였다. 적외선에 발광하는 3개의 표식자를 제11흉추, 제12흉추, 제2요추 및 제3요추에 각각 부착하였다. 준비된 표본은 3대의 VICON 카메라(Oxford, England)와 Micro-VAX 3100 workstation(DEC, Maynard, MA)로 이루어진 3차원적 운동분석기를 이용하여 비파괴적 유연성 실험을 시행하였다. 6방향 즉 굴곡, 신전, 우측굴, 좌측굴, 우회전 및 좌회전 방향에 순수 모멘트를 적용하기 위해 추중량을 사용하였으며 반대 방향에도 똑같은 크기의 힘을 적용하였다. 하중부하 방법은 Goel등이 제안한 방법을 이용하여<sup>13)</sup> 5단계로 실행하였으며 1.6Nm씩 증가하면서 최고 6.4Nm의 힘을 가하였으며 운동계측치는 적외선에 발광한 표식자의 공간좌표로부터 자료를 얻었다.

추체 제거술은 제1요추의 전주와 중간주를 완전하게 제거하였으며 손상된 척추의 불안정성을 가능한 크게 하기 위해 어떠한 이식물질도 사용하지 않았다. 각 표본에서는 두가지의 각각 다른 경우 즉 정상 척추의 경우와 제1요추를 제거한 후 후방 고정기기로 고정한 경우로 나누어 실험하였으며 후방 고정기 기술은 ISOLA 기기를 이용하여 3가지의 각각 다른 고정방법 즉, 제1군 - 추체 제거술을 시행한 척추의 위, 아래 2 분절에 각각 후방 갈고리 고정을 양측으로

신연 방식으로 시행한 군, 제2군 - 추체 제거술을 시행한 척추의 위, 아래 2 분절에 한쪽은 신연 방식으로 갈고리 고정을 시행하고 반대쪽에는 압박 방식으로 갈고리 고정을 시행한 군, 제3군 - 추체 제거술을 시행한 척추의 위, 아래 2분절에 양측으로 추체제거 분절로부터 원위측은 압박, 근위측은 신연 방식으로 삽입하여 마치 조류 또는 새의 발갈퀴 양상의 갈고리 고정을 시행한 군으로 나누어 실험하였으며(Fig. 1), 각 구조물은 수술실에서 수행하는 수술방법과 동일한 방법으로 10개의 송아지 척추에 시행하였다.

갈고리는 제11흉추에서부터 제2요추까지 삽입하였으며 금속봉과 갈고리 사이에는 ISOLA 연결기구를 사용하여 단단하게 고정하였으며 황고정기기는 척추의 불안정성을 최대한 만들기 위해 사용하지 않았다. 고정기기로 안정화된 제11흉추부터 제3요추까지 각 분절의 회전각도는 전체적인 안정효과를 비교하기 위해 정상표본의 회전각으로 표준화 시켰으며 이러한 표준화 작업의 과정은 Goel 등이 제시한 방법을 이용하였다. 이렇게 해서 고정된 분절에서 나타나는 운동변화를 정상분절과 비교하여 운동변화의 백분율로 표현하였으며 음 백분율치는 정상표본보다 안정성 효과를 의미하는 것을 말하고 양 백분율치는 불안정성 효과를 의미한다. 이러한 표준화된 운동량의 계측치는 통계분석에 사용되었으며 이러한 통계분석은 1요인 분산분석의 Tukey 다중 평균 비교 방법을 사용하였다.

## 결 과

정상표본은 고정기기와 비교시에 모두 굴곡, 신전, 측굴 그리고 측회전 운동에 있어 의미있는 안정성 효과를 보였다. Fig. 2는 추체 제거후 각각의 추체 고정 방법을 시행후 제1요추의 위치에서 얻어진 운동변화의 결과를 정상표본의 운동과 비교한 운동 변화의 평균 백분율을 나타낸 그림이며 Table 1은 추체 제거술을 시행한 척추 분절, 그 윗분절과 그 아래 분절에서 측정된 운동량의 평균치를 나타낸 표이다. 측굴곡 그리고 측회전의 우측과 좌측의 수치는 통계적으로 비슷한 결과를 보였기 때문에( $P>0.4$ ) 수치는 4방향으로만 표시하였다.

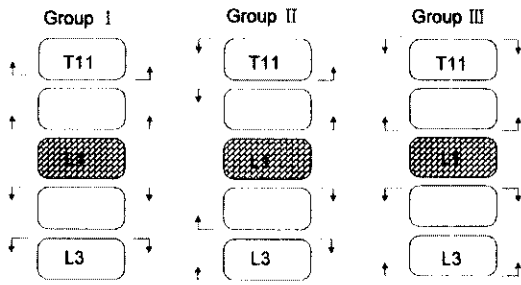


Fig 1. Tested constructs.

**Group I** : 2 hooks 2 levels above and 2 levels below corpectomy site in distraction modes bilaterally

**Group II** : 2 levels above and 2 levels below hooks with one rod in distraction and the other rod in compression modes.

**Group III** : 2 levels above and 2 levels below hooks with claw hook configuration bilaterally.

### 주체 제거 부위

#### 굴곡

모든 고정방법들은 정상표본의 운동과 비교시에 통계적으로 유의한 굴곡운동의 감소를 보여 주었고 ( $P<0.001$ ), 고정방법들 중 제1군이 다른 고정방법보다

더 의미있게 안정성이 낮음을 보여 주었으며(Fig 2) 그 차이는 통계적으로 의미 있었다( $P<0.01$ ). 제2군과 제3군사이에서 안정성 차이는 통계적으로 의미가 없었다.

#### 신전

신연 양상의 갈고리 고정한 제1군을 제외한 제2,3군들은 정상표본과 비교하였을 때 통계적으로 의미 있는 신전운동의 안정성을 제공하였다( $P<0.001$ ). 제1군의 신연 양상의 갈고리 고정방법은 정상 표본보다 신전운동을 감소시키지 못하였다. 제1군은 제2,3군보다 안정성이 낮음을 보여 주었으며 (Fig 2) 그 차이는 통계적으로 의미 있었으나 ( $p<0.001$ ), 제2군과 제3군 간의 차이는 통계적으로 의미가 없었다.

#### 측굴곡

측굴곡 운동은 정상표본과 비교하였을 때 모든 고정방법이 의미있게 운동 감소를 보여 주었다 ( $P<0.001$ ). 그러나 측굴곡 운동을 제한하는데 있어 각 군 간의 안정성의 차이는 제1군을 제외하고는 서로 의미있는 차이를 보이지 않았다. 제1군의 신연 갈고리 양상의 고정방법은 다른 고정방법들보다 의미있게( $P<0.01$ ) 감소된 안정성을 보여 주었다(Fig 2).

#### 축회전

제1군에서 제3군까지 모든 갈고리 고정 구조물들의 축회전 운동은 정상표본의 축회전 운동과 비교하였을 때 정상보다 안정성이 훨씬 떨어졌으며 이는 통

Table 1. Mean( $\pm$ SD) motions of the motion segment(Unit : Degree).

Level	Group	AR	LB	Flex	Ext
Corpectomy	I	0.62 $\pm$ 0.43	2.63 $\pm$ 1.17	1.71 $\pm$ 1.13	0.85 $\pm$ 0.94
	II	0.33 $\pm$ 0.16	1.01 $\pm$ 0.41	0.81 $\pm$ 0.94	0.57 $\pm$ 0.34
	III	0.15 $\pm$ 0.25	1.14 $\pm$ 0.66	0.07 $\pm$ 0.31	0.30 $\pm$ 0.21
Below Corpectomy	I	11.55 $\pm$ 2.88	1.60 $\pm$ 1.27	3.74 $\pm$ 2.14	3.49 $\pm$ 1.19
	II	7.23 $\pm$ 1.94	0.28 $\pm$ 0.61	0.97 $\pm$ 0.73	0.75 $\pm$ 0.39
	III	7.79 $\pm$ 2.30	0.39 $\pm$ 0.44	1.37 $\pm$ 0.77	0.83 $\pm$ 0.49
Above Corpectomy	I	1.50 $\pm$ 0.74	3.18 $\pm$ 1.32	1.58 $\pm$ 0.63	1.75 $\pm$ 1.25
	II	1.14 $\pm$ 1.21	1.15 $\pm$ 0.67	0.90 $\pm$ 0.77	0.58 $\pm$ 0.52
	III	1.01 $\pm$ 1.17	0.68 $\pm$ 0.58	0.58 $\pm$ 0.53	0.38 $\pm$ 0.34

SD = Standard deviation, AR = axial rotation, LB = lateral bending,  
Flex = flexion, Ext = extension

## 고 찰

**Fig 2.** Normalized percent change of motion and standard deviations as compared with the intact specimen at the corpectomy level after stabilized by various posterior instrumentation constructs.

계적으로 의미가 있었다( $P<0.001$ ). 제1군과 제3군 사이에서 제1군의 신연 양상의 갈고리 고정 구조물은 제2군과 제3군보다 훨씬 큰 축회전 운동을 보여 주어 안정성이 떨어진 양상을 보여 주었고( $P<0.001$ ) (Fig.2), 제2군과 제3군은 축회전 운동의 차이를 보였지만 통계적인 의미는 없었다.

### 주체 제거 아래부위

모든 갈고리 고정 구조물들은 모든 운동부하 방법에 있어 정상 표본보다 감소된 운동을 보여주었으며 제1군의 축회전 운동을 제외하고는 각군의 모든 운동의 안정성 효과는 통계적으로 의미가 있었다( $p<0.001$ ). 제2군과 제3군 사이에서 각군의 운동의 안정성 효과는 서로 비슷하였으며 통계적 의미는 없었다.

### 주체 제거 위 부위

모든 고정 구조물들은 축회전 운동에 있어 정상 표본보다 더 안정성을 개선시키지는 못하였으나 굴곡, 신전, 측굴곡의 운동에 있어서는 정상 표본보다 더 큰 안정성을 의미있게 보여 주었으며 통계적으로 의미 있었다( $p<0.001$ ). 각 군의 운동성에 대해 서로 비교해 보았을때 제1군의 신연 양상의 갈고리 고정이 가장 나쁜 안정성을 보여 주었다.

흉요추 부위의 방출성 골절의 수술적 치료는 논란의 대상이 되고 있으나 많은 척추외과 의사가 후방 기기고정술을 선호하고 있다. 골절의 양상이 다양함에 따라 불안정성도 다양하게 발생하며 수술에 의해 척추의 안정성은 얻어져야 하므로 척추기기는 여러 각도에서 운동을 제한하여 안정되고 단단한 구조물을 이루어야 하며, 따라서 기기 구조물의 설계와 재료는 기기의 안정성에 커다란 영향을 미치게 된다<sup>4,11,14,16,20,23,25</sup>). 척추 고정기기의 목적은 기기로 고정된 부위의 운동을 제한하여 골유합이 가능한 한 빨리 일어나도록 하는데 목적이 있다<sup>11</sup>).

손상된 척추를 재건하는데는 여러 방법이 있는데 이러한 방법을 선택하는데에는 손상기전, 신경손상 및 손상부위의 병리해부 등이 고려되어야 한다<sup>2</sup>. 수술적 방법에 있어 전방으로 접근 할 것인가 후방으로 접근할 것인가를 결정하는데 여러가지 요소가 있으며 후방도달법은 임상적으로 신경손상이 없거나 경미한 정도의 방출성 골절이나 골절탈구와 같은 불안정성 골절이나 골다공성 척추에서 사용되어지며 또한 생체 역학적 인자도 고려되어야 한다. 많은 후방 고정기기 들은 각기 다양한 생체역학적 특성을 보이고 있으며 많은 인자 즉 나사못이나 갈고리의 형태나 길이, 고정한 나사못이나 갈고리의 수, 나사못이나 갈고리와 금속봉이나 금속판 사이의 연결 양상, 금속봉의 크기, 횡 연결기구등이 후방 기기 구조물의 안정성에 많은 역할을 하고 있다. 본 연구는 송아지 흉요추 이행부위에 제1요추의 추체제거술을 시행한 후 구성된 ISOLA 후방 갈고리 고정기기 구조물에서 추체 제거의 윗부분, 추체 제거 부분 및 추체 제거 아래부분에서 발생한 생체 역학적 안정성 효과를 서로 비교 분석하였다.

본 연구에서는 인간사체를 사용하지 않고 송아지 척추 모형을 사용하였는데 이유는 인간 사체는 구하기 어려울 뿐만 아니라 주로 노인 연령에서만 이용될 수 있고, 또한 사람에서는 골밀도가 서로 다양하게 다르기 때문에 이러한 것은 실험 결과에 많은 영향을 미칠 수 있으며<sup>7,18,19,26</sup>), 또한 골다공성 척추는 흔히 젊은 연령층에서 발생할 수 있는 방출성 골절의 모델로 적용될 수 없기 때문이다. 불안정성 척추를 만드

는데는 많은 발표가 있었으나<sup>1,14,27)</sup> 본 연구에서는 제1요추의 전후와 중간주를 약 5-6cm 정도 제거하여서 만들었으며, 저자들은 어떤 종류의 골이식이나 고정 기기를 사용하지 않음으로 인해 각기 다른 후방 구조물의 상대적인 안정성을 비교하기 위해 최대한으로 불안정한 상태를 만들었다.

척추의 전주를 재건하지 않았을 경우 후방 고정기기 구조물을 보면 역학적으로 운동힘이 척추에서 갈고리나 추경 나사못 등의 고정물로 전달되고, 금속봉에 잠금장치나 연결 구성요소로 전달되고, 그리고 금속봉이나 금속판을 통하여 손상된 추체를 건너뛰어 힘이 전달되게 된다<sup>11,15)</sup>. 그래서 전방골 이식없이 단분절 기기 고정시에 정복의 소실 및 기기의 파손이 흔히 발생한다고 하였으며<sup>21)</sup> 척추에 가해지는 모든 부하를 척추 기기만으로는 장기간 견딜 수가 없기 때문에 골유합을 시행하게 된다. 갈고리 고정은 비교적 강도가 약한 후궁에 고정되기 때문에 갈고리가 부착하는 골조직의 강도는 가장 중요한 요소가 되며 척추의 후방 구조물에만 고정되어 전방 구조물에는 많은 영향을 미치지 못하기 때문에 척추에 가해지는 부하를 많이 공유할 수 없다. 이등<sup>17)</sup>의 실험에서 갈고리 기기는 신전력에 가장 안정 하였고 굴곡력과 측굴곡력에서는 나사못 기기에 비해 50%의 안정성을 보였다고 보고 하였는데 이 실험에서 갈고리 설치 방향은 원심 방향으로 하였고 신전기기를 사용하지 않았으나 저자들의 실험에서는 척추 임상에 이용되는 ISOLA기기를 사용 하였으며, 전운동 방향에 대해 신연 양상의 갈고리 고정이 압박-신연 양상이나 갈퀴 양상의 고정보다 훨씬 감소된 안정성을 보여 주었다.

저자들은 본 실험에서 순수한 각 방향으로의 힘을 비파괴적인 방법으로 적용하여 비제한적인 운동량을 측정하였다. 이는 이전에 보고된 방법과 비슷하며<sup>13,22)</sup>, 3대의 VICON 카메라와 Microvax 3100 workstation의 프로그램으로 이루어진 3차원적 운동분석 방법을 이용하여 실험척추의 유연성 계측치를 얻었으며 이러한 실험방법은 이전에 이미 입증된 방법과 같다<sup>2)</sup>. 본 실험의 자료는 기기 구조물의 피로도를 측정하는 연구는 아니므로 고부하 시의 유연성 실험과 연속부하 시의 피로 강도를 찾아내는데는 더 많은 생체 역학 실험이 요구되어지며, 또한 본 실험이 인간 사체 실험에 이용될 때는 자료를 더욱 신중하게 고려하여 이

용되어야 할 것으로 사료된다.

Harrington기기는 갈고리와 연결봉 사이에 견고한 고정이 이루어지지 못한다는 점에서도 나사못 고정과의 비교에서는 당연히 안정성이 떨어지는 결과를 보였을 것으로 생각된다. 그러나 본 실험에서는 다분절에 갈고리를 설치하고 갈고리와 연결봉 사이에도 견고한 고정을 하여 갈고리 고정의 약점을 많이 보완 하였다. Ashman등<sup>3)</sup>은 다분절에 갈고리를 설치함으로써 상하단 양끝에만 설치했을 때보다 측강성이 2배, 염전강성이 4배 증가한다고 하였다. Mc Lain등<sup>21)</sup>의 연구에 의하면 정상 척추 표본과 비교하였을 때 후방 척추기기의 고정능력은 측성 강도면에 있어서는 정상의 76% 정도로 더 적은 강도를 보였지만 통계적으로 의미있는 차이를 보이지는 않았으며 또한 측회전에 대해서도 정상보다 30% 정도 덜 강직한 면을 보였다고 하였다. 따라서 다분절에 갈고리를 고정하고 갈고리와 연결봉 사이에 견고한 고정이 이루어지면 나사못 고정기기와 안정성의 차이는 많이 줄어들 것으로 보인다.

임상적인 면에서 초기의 강도는 매우 중요한 것이라고 할수 있기 때문에 후방기기 고정은 초기 강도를 많이 증가시킴에 따라서 골절의 치유나 유합골의 경화를 더욱 증진시킬 수도 있다. 또한 흉추분절은 비교적 운동성이 적고 하부 요추의 기능에 영향을 미치지 않기 때문에 골절부위에서 위쪽으로 한 분절의 추가 고정은 척추의 운동범위에 영향을 주지 않을 뿐만 아니라 단분절 후방기기 고정술의 근본 원리를 회생시키지 않는다고 한다. 이러한 이론에 저자들도 같은 생각을 갖고 있다.

아무튼 저자들의 연구에서는 정상 표본과 비교해 보았을 때 각기 다른 후방기기 구조물들은 상대적인 차이를 보여주었다. 즉 신연 양상의 갈고리 고정방법은 모든 운동 방향에서 다른 고정방법보다 더 적은 안정성을 보여 주었으며, 측회전 운동에 있어서는 모든 고정방법이 정상보다 더 큰 운동을 보여 주었으나 통계적으로는 의미가 없었다.

## 결 론

흉요추부의 불안정한 송아지의 척추 모형에 후방

척추 기기 고정술을 수행하여 생체역학적인 연구를 시행한 결과 신연양상의 갈고리 기기 고정 구조물은 추체 제거 부위와 그 윗부위에서 가장 작은 안정성을 보여주었다. 압박-신연 양상의 고정과 갈퀴 모양의 고정은 비슷한 안정성을 보여 주었으며 통계적으로 의미있는 차이를 보이지는 않았고 신연 양상의 고정과는 차이를 보여 주었다. 갈고리 고정을 사용할 경우에는 갈퀴모양의 고정이나 압박-신연 양상의 갈고리 고정을 하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- 1) **Abumi K, Panjabi MM and Duranceau J** : Biomechanical evaluation of spinal fixation devices. Part III. Stability provided by six spinal fixation devices and interbody bone graft. *Spine*, 14:1249-55, 1989.
- 2) **An HS, Lim TH, You JW, Hong JH, Eck J and McGrady L** : Biomechanical evaluation of anterior thoracolumbar instrumentation. *Spine*, 20:1979-1983, 1995.
- 3) **Ashman RB, Birch JG, Bone LB, Corin JD, Herring JA, Johnston CE, Ritterbuch JF and Roach JW** : Mechanical testing of spinal instrumentation. *Clin Orthop*, 227:113-25, 1988.
- 4) **Ashman RB, Bechtold JE, Johnston CE, McAfee PC and Tencer AF** : In vitro spinal arthrodesis implant mechanical testing protocols. *J Spinal Disorders*, 2:274-81, 1989.
- 5) **Benson DR, Burkus JK, Montesano PX, Sutherland TB and McLain RF** : Unstable thoracolumbar and lumbar burst fractures treated with the AO fixateur interne. *J Spinal Disord*, 5:335-543, 1992.
- 6) **Chiba M, McLain RF, Yerby SA, Moseley TA, Smith TS and Benson DR** : Short-segment pedicle instrumentation: Biomechanical analysis of supplemental hook fixation. *Spine*, 21:288-294, 1996.
- 7) **Coe JD, Warden KE, Herzig MA and McAfee PC** : Influence of bone mineral density on the fixation of thoracolumbar implants. A comparative study of transpedicular screws, laminar hooks, and spinous process wires. *Spine*, 15:902, 1990.
- 8) **Crutcher JP, Anderson PA, King HA and Montesano PX** : Indirect spinal canal decompression in patients with thoracolumbar burst fractures treated by posterior distraction rods. *J Spinal Disord*, 4:39-48, 1991.
- 9) **Denis F** : The three column spine and its significance in classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*, 8:817-831, 1983.
- 10) **Ebelke DK and Asher MA** : Survivorship analysis of VSP spine instrumentation in the treatment of thoracolumbar and lumbar burst fractures. *Spine*, 16:428, 1991.
- 11) **Ferguson RL and Tencer AF** : Biomechanical comparisons of spinal fracture models and the stabilizing effects of posterior instrumentations. *Spine*, 13:453-460, 1988.
- 12) **Gaines RW Jr and Carson WL** : Experimental evaluation of seven different spinal fracture internal fixation devices using nonfailure stability testing. *Spine*, 16:902-909, 1991.
- 13) **Goel VK, Nye TA, Clark CR, Nishiyama K and Weinstein JN** : A technique to evaluate an internal spinal device by use of the Selspot system: An application to Luque closed loop. *Spine*, 12:150-159, 1987.
- 14) **Gurr KR, McAfee PC and Shih CM** : Biomechanical analysis of anterior and posterior instrumentation systems after corpectomy. A calf- spine model. *J Bone Joint Surg*, 70:1182-91, 1988.
- 15) **Gurwitz GS and Dawson JM** : Biomechanical analysis of three surgical approaches for lumbar burst fractures using short-segment instrumentation. *Spine*, 18:977-982, 1993.
- 16) **Laborde JM and Bahniuk E** : Comparison of fixation of spinal fractures. *Clin Orthop*, 152: 303, 1980.
- 17) **Lee CS, Suk SI and Sung KS** : Biomechanical

- study on multiple hooks and screws fixation in the long posterior spinal instrumentation. *J Korean Spine Surg*, 4:212-22, 1997.
- 18) **Lim TH, An HS, Evanich C, Hasanoglu C and Wilson C** : Effect of bone mineral density on the pull-out strength of the vertebral screw. *J Spin Disord*, 8:121-125, 1995.
- 19) **Lim TH, An HS, Hasegawa T, McGrady L, Hasanoglu KY and Wilson CR** : Prediction of fatigue screw loosening in anterior spinal fixation using dual energy x-ray absorptiometry. *Spine*, 20:2565-2569, 1995.
- 20) **McAfee PC, Werner FW and Glisson RR** : A biomechanical analysis of spinal instrumentation systems in thoracolumbar fractures: comparison of traditional Harrington distraction instrumentation with segmental spinal instrumentation. *Spine*, 10:204-17, 1985.
- 21) **McLain RF, Sparling E and Benson DR** : Early failure of short segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures. *J Bone Joint Surg*, 75A:162, 1993.
- 22) **Panjabi MM** : Biomechanical evaluation of spinal fixation devices: I. A conceptual framework. *Spine*, 13:1129-1134, 1988.
- 23) **Shono Y, Kaneda K and Yamamoto I** : A biomechanical analysis of Zielke, Kaneda and Cotrel-Dubousset instrumentations in thoracolumbar scoliosis: a calf spine model. *Spine*, 16:1305-11, 1991.
- 24) **Spirak JM and Neuwirth MG** : Hydroxyapatite enhancement of posterior spinal instrumentation fixation. *Spine*, 19:955-964, 1994.
- 25) **Suk SI, Lee CK, Min HJ, Cho KH and Oh JH** : Comparison of Cotrel-Dobousset pedicle screws and hooks in the treatment of idiopathic scoliosis. *International Orthopaedics*, 18:341-46, 1994.
- 26) **Wittenberg RH, Shea M, Swartz DE, Lee KS, White AA and Hayes WC** : Importance of bone mineral density in instrumented spine fusions. *Spine*, 16:647-652, 1991.
- 27) **Zdeblick TA, Warden KE, Zou D, McAfee PC and Abitbol JJ** : Anterior Spinal Fixators: A biomechanical in vitro study. *Spine*, 18:513-517, 1993.