

# 후방 척추고정술에서 척추경 나사못의 크기와 형태가 척추 고정력에 미치는 영향에 대한 연구

문무성, 류계정(근로복지공단 재활공학연구센터)  
유명철, 김기택(경희대학교 의과대학 정형외과학교실)

## Effects of Screw Diameter and Thread Shape on the Strength of Transpedicular Screw Fixation in Posterior Spinal Fusion

Mu S. Mun, Jei C. Ryu (Korean Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center),  
Myung C. Yoo, Ki T. Kim (Department of Orthopedic Surgery,  
School of Medicine, Kyung Hee University)

### Abstract

The objectives of the present study are 1) to find the effect of the diameter of transpedicular screws on their fixational strength in pedicles under static pull-out loading, 2) to determine the biomechanical correlation between the pedicle diameter and the screw diameter, and 3) to find the effects of other factors in the screw design, such as materials, screw pitch, thread height and shape on their fixational strength.

Biomechanical tests (Test I) were performed to evaluate the effect of the screw diameter on pull-out strength by using 60 porcine pedicles and six groups of custom-made pedicle screws with different diameters (the major and the minor diameter of the screws used in the testing varied from 4mm upto 9mm and from 3mm upto 8mm, respectively) while all other factors (materials, screw pitch, thread height and shape etc.) were fixed. In Test II, by using 61 porcine pedicles, the relationship between the ratio of the pedicle diameter and the screw diameter (=aspect ratio) of the custom-made screw and the pull-out strength of the screw was investigated. Test III was performed with 94 porcine pedicles and 8 different types of the commercial screws from 6 major productors in order to determine the effect of the screw diameter, pitch and the thread shape on the pull-out strength of the screw, respectively.

The results of Test I showed that the axial pull-out resistance of the screw could be increased proportionally to the screw diameter ( $P < 0.05$ ). But this increase in the pull-out resistance did not found when the screws of 4mm or 9mm in the diameter were employed. It was found from the results of Test II that the screws had its maximum pull-out resistant force when the aspect ratio ranging 40 - 69% ( $P < 0.05$ ). based on the results for the major diameter against the minor diameter of screw, the maximal pull-out resistance was found at 60-65% ( $P < 0.05$ ). According to these biomechanical testing results, it seems that the screw with a moderately large pitch is more desirable and the buttress-shaped screw can provide stronger fixation than the V-shape one can, if other designal factor and conditions were fixed.

### I. 서론

1959년 Boucher<sup>2)</sup>가 척추 고정시 척추경을 통하여 추체로 나사못을 삽입한 이래, Roy-Camille<sup>13)</sup>, Krag<sup>5)</sup> 및, Cotre<sup>14)</sup>에 의하여 여러형태의 척추경 나사못이 개발되어 왔다. 척추경 나사못을 이용한 척추고정은 과거 Harrington System<sup>7)</sup>, Luque System<sup>10)</sup>에 비하여 강력한 고정력으로 척추기형의 교정에도 큰 효과가 있을뿐 아니라 적은 부위의 척추유합으로 운동가능 관절을 더 많은 보존할

수 있는 장점이 있다. 지금까지 많은 학자들의 후방 척추 고정에 대한 연구에서 척추경 나사못의 고정력은 1)척추의 해부 형태학적인 특성, 2)골밀도차이, 3)사용된 나사못의 특성(즉, 소재, 내경, 외경, 나사산 간격(Pitch), 나사산의 모양등), 4)나사못 삽입방법 및 깊이, 5) 나사못과 금속봉 또는 금속판의 연결 방법 (Connecting System of Rod or Plate with Screw)에 따라 차이가 있음이 밝혀졌다.<sup>1,3,5,6,8,11,14,15,16,17,18,22)</sup> 그러나 유사한 실험방법을 시행하였음에도

저자에 따라 척추경 나사 고정력에 대한 실험의 결과는 조금씩 상반된 견해를 나타내고 있으며 그 이유는 대다수의 생역학적인 실험의 대상으로 고령의 인체 척추를 이용 함으로써 나이에 따른 골밀도의 감소와 개체간의 골밀도의 차이가 고려되지 않아 생긴 것으로 생각된다. 따라서 일정범위내의 크기와 골밀도를 갖고 있는 균질의 동물 척추를 이용함으로써 실험재료의 차이로 인한 인자를 최대한 배제한 상황에서의 나사못 고정력에 대한 조사가 필요하다고 사료되었다. 또한 나사못의 재질, 모양, 크기등의 여러 복합적인 자가 나사못 고정력에 작용하기 때문에 이들 인자에 대한 단순한 비교는 오차를 내포할 수 있으므로, 영향을 주는 여러 인자중 하나의 인자만을 변화를 주면서 다른 변수는 같은 조건하에 실험하는 것이 그 인자와 고정력의 상관관계를 규명하는데 필수적인 것이라 사료된다. 본 연구의 목적은 일정 이상의 골밀도를 갖고 있는 돼지의 척추를 이용하여 골밀도의 차이에서 오는 고정력의 오차를 최소화한 상태에서 생체역학적 실험을 통해 1)나사못의 크기 (외경, 내경)가 고정력에 미치는 영향, 2)척추경의 지름과 나사못의 지름의 비율에 따른 고정력의 변화, 3)현재 국내 임상에서 가장 많이 쓰이는 대표적인 척추경 나사못을 이용, 각 특성에 따른 고정력의 차이를 규명함으로써 척추경 나사못 사용시 고정력에 영향을 주는 인자들을 규명하고, 이를 바탕으로 우리나라 사람의 체형에 맞는 새로운 척추경 나사못 개발의 기초자료를 수집하는데 있다.

### II. 연구재료 및 방법

#### 1. 연구재료

##### 1) 실험에 사용된 척추

실험에 사용된 동물은 생후 5개월, 체중이 90kg 이상으로 질병 없이 정상 성장한 15마리의 육돈(요오크서종)으로, 도축장에서 도살된 직후, 신속하게 냉동 운반하여 척추(vertebral column) 주변의 모든 연부조직(인대, 관절낭 및 추간판)을 제거하고 해부학적 단위로 분절, 흉추(11, 12번)와 요추(1-5번)에 동물과 척추위치에 따라 고유번호를 부여하여 사용하였다 (Fig.1). 실험에 사용된 척추는 0.05mm까지 계측이 가능한 Caliper (Mitutoya사, JAPAN)를 이용하여 척추경의 최단 좌우 직경을 측정하여 그 크기가 일정범위(13-18mm)의 것만을 사용하였고 척추체의 골밀도를 측정(Dual photon absorptiometry, Lunar, USA)하여 기준치(1.0g/cm<sup>3</sup>) 이상의 척추만을 사용함으로써 실험 동물에서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하였다.

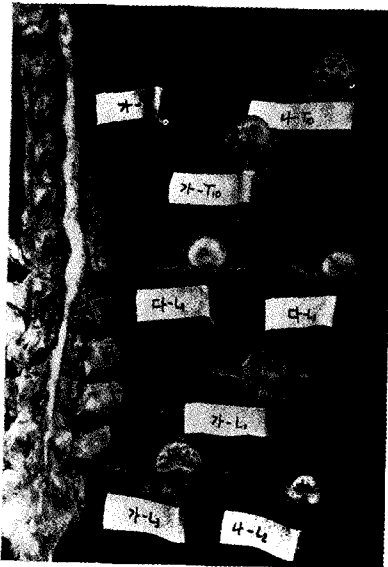


Fig. 1. Vertebra column was divided into segment and identified and give each specimen numbers from T11 to L5.

2) 실험에 사용된 척추경 나사못

가. 나사못 I형 : 실험용으로 주문 제작한 나사못 (Table 1, Fig. 2)

나사못의 나사산 간격, 나사산의 모양, 나사산 높이 및 나사산의 길이를 동일 조건으로 하고 나사못의 직경만의 변화가 고정력에 미치는 영향을 규명하고자 저자들은 CD screw 와의 유사한 형태로 외경 4mm에서 9mm까지, 내경 3mm에서 8mm까지 6종류로 동일 재질의 나사못을 각각 5개씩 30개의 나사못을 주문 제작 하였다 (모든 나사못의 동일 조건 : 나사산 간격 = 3mm, 나사산 모양 = V-형, 나사산 높이 = 0.5mm, 재질 = SUS-301).

나. 나사못 II형 : 현재 임상 사용 나사못 (Table 3, Fig. 3)

현재 국내에서 임상에 사용되는 대표적 형태의 6종류 8가지 척추경 나사못을 선택, A형에서 F형으로 구분하고 동일 제조사의 나사못인 경우에는 직경에 따라서 1-2로 세부 명명하여, 나사못에 따른 고정력을 비교하였다. 각 종류에 따른 나사못의 세부적인 특성은 Table 3과 같다.

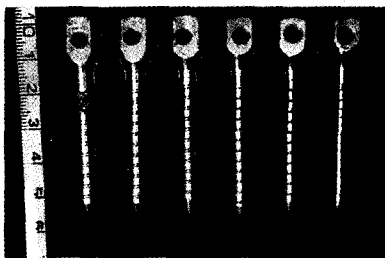


Fig. 2. All custom-made screws. The screw minor diameter ranges from 3 to 8 mm and major diameter range from 4 to 9 mm. The thread height and pitch were 0.5 and 3 mm respectively. The thread profile was V-shaped.

2. 실험방법

1) 나사못 삽입

나사못을 삽입 하기전에 척추경 나사못 머리의 다양한 형태에 의한 오차를 최소화 하기 위하여 척추체 후면 상관절 돌기 (Superior Articular Facet) 를 제거하였다. 실험 목적에 맞는 척추경 나사못의 내경보다 1.5mm 작은 천공기(Drill Beat)로 상관절 돌기와 양측 횡돌기의 중앙을 잇는 선과 만나는 교차점 바로 아래지점에 삽입구를 예비천공(Predrilling)한후 육안으로 척추경의 중앙부에 삽입되도록 확인하면서 25mm 깊이로 나사못을 삽입하였다. 나사못 삽입후에는 방사선 사진을 촬영하여 나사못의 삽입깊이와 위치, 방향등을

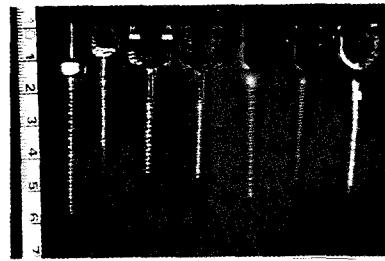


Fig. 3. Commercial screws popularly using in this country. It's characteristics were described table 3.

확인하였다(Fig. 4)

2) 시편제작

Material Testing System(MTS)에 시편의 고정을 용이하게 하고 시편을 고정시키는 Clamp의 힘이 직접 뼈에 전달되는 것을 방지하기 위하여 Resin을 사용하여 50x50x45mm의 직육면체 모양의 시편을 제작하였다. 마운팅(Mounting) 과정중 Resin이 나사못에 직접 묻게되면(특히, 나사못의 입구 부분) 불필요한 고정력이 강화되므로, 이를 피하기 위하여 Resin을 용기에 주입하기전 충분한 양의 파라핀으로 나사못 입구 주변을 도포, Resin에 의한 나사못 고정력의 오차 가능성을 배제하였다(Fig.5).

3) 생체역학 실험

나사못이 삽입된 시편을 MTS(Autograph E10T, Shimatzu사, JAPAN)의 고정단(Fixed Cross-head)에 장착시킨후, 나사못의 축방향과 일치하는 방향으로 인장력을 작용시켜 나사못이 해리되는 과정의 하중 및 변위를 기록하였다. 나사못이 해리되는 순간의 최대하중을 각 나사못의 고유 고정력으로 정의하여 최대점에서의 하중을 측정하였다. 이때 이동단(Moving Cross-head)의 이동속도는



Fig. 4. The radiographic view of screw inserted porcine vertebra specimen and confirmed screw position.

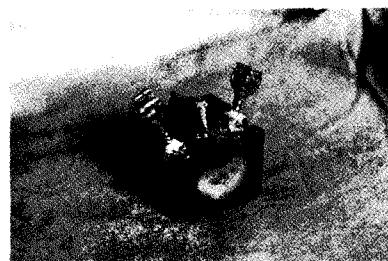


Fig. 5. Experimental specimens with resin preparation for pull-out test.

1 mm/min로 하였다.

가. 실험 I : 외경에 따른 고정력의 차이 비교

척추경 나사못의 여러가지 형태학적 특성중, 나사못의 직경을 제외한 인자들은 동일 조건으로 고정하고 직경만을 다르게 하여 직경에 따른 고정력의 변화를 비교하는 실험으로 제11, 12 흉추와 제1,

2, 3, 4, 5 요추의 좌우 척추경에 주문제작된 외경 4mm에서 9mm까지(1mm 단위로 증가) 6 종류의 나사못(나사못 1형)을 25mm의 동일한 삽입 깊이로 삽입하여 측방향 인장에 대한 최대 고정력을 측정하였다.

**나. 실험 II : 척추경과 나사못의 단면적 비율에 따른 고정력 비교**

동일한 나사못 조건에서 나사못의 직경이 척추경 단면에 차지하는 비율(Screw Diameter/Pedicle Diameter x 100, Aspect ratio, %)에 따른 고정력의 변화를 조사하고 자, 이미 척추경 좌우 단면이 계측된 제 11, 12 흉추와 제 1, 2, 3, 4, 5 요추의 척추경중 척추경의 최단직경이 9~10mm, 11~12mm, 13~14mm, 15~16mm 의 4군으로 분류한후 척추경의 가장 좁은 외부의 피질골의 직경과 나사못 외경의 백분율을 10% 단위로 세분 (30-80 %까지)하여 각 비율에 해당되는 척추경에나사(나사 1형) 못을 선택하여 삽입한후 인장력에 대한 최대 고정력을 측정하였다.

**다. 실험 III : 현재 임상 사용중인 척추경 나사못의 고정력 비교**  
국내에서 임상적으로 사용되는 나사못 8가지를 제 11, 12 흉추와 제 1, 2, 3, 4, 5 요추에 실험 I과 동일한 방법으로 삽입한 후에 각 나사못의 인장력에 대한 최대 고정력을 측정하였다.

**III. 결 과**

**가. 실험 I (Table.1)**

외경이 4mm에서 9mm까지 나사못의 고정력은 134±37.1kgf에서부터 210.9±56.9 kgf로 나타났다.

**A) 직경에 따른 고정력**

동일한 조건에서 외경에 따른 고정력은 외경 8 mm에서 210.9±56.9 kgf로서 가장 크게 나타났으며, 외경이 4 mm에서 8 mm까지는 고정력이 비례적으로 증가하였으나, 9 mm에서는 오히려 134.1±37.1 kgf로서 직경 4 mm의 고정력(154±24.9 kgf)보다 작게 나타났다.

**B) Drill Bit의 크기와 나사못 내경의 비율에 따른 고정력**

나사못을 삽입시 사용된 천공기의 직경과 나사못 내경 비율(Diameter of Drill Beat/Minor Diameter of Screw x 100, %)은 50-81.3 %의 분포를 보였다. 실험에서 측정된 나사못의 최소 고정력은 134.1±37.1 kgf로 81.3 %에서 측정되었고, 최대 고정력은 210.9±56.9 kgf로 78.6 %에서 측정되었으나 통계적 의미는 없었다 (P>0.05).

**나. 실험 II (Table 2)**

척추경의 최단 직경과 척추경 나사못의 외경과의 비율 (Screw Diameter/Pedicle Diameter x 100, Aspect ratio, %)은 28.6 %에서 88.9%까지 분포되어 있었으며 가장 큰 고정력은 비율이 40.0-49.0 % 경우에서 189.7±56.0 kgf 였고, 가장 작은 고정력은 80-89%경우의 165.8±40.2 kgf 였다. Aspect Ratio에 따른 군을 40% 미만, 40-69%, 70% 이상의 3군으로 나누었을때 각각의 고정력은 163.35±22.3 kgf, 177.77±40.6 kgf, 166.95±40.1 kgf로서 40-69% 군에서 가장 높은 고정력을 보였으며 이들 각군에 따른 고정력의 차이는 통계학적 유의성이 있었다 (P <0.05).

**다. 실험 III (Table 3)**

현재 임상에서 사용되는 나사못 6종류 (A형-F형), 8가지에 대한 고정력은 153.8±34.2 kgf 에서부터 215.6±15.5 kgf 까지 계측되었다. (Table 3). 측정된 정적 고정력 (static fixational resistance)의 통계계를 분석, 여러가지 나사못 설계상에 따른 인자와 이들 정적 고정력의 상관 관계를 연구하였다.

**A) 외경에 따른 고정력**

8가지 나사못중 외경이 5.5mm인 것이 2종류 (B-2형, C-2형),

6.0mm인 것이 3종류(A형, D형, E형). 6.5-7.0mm인 것이 3종류 (B-1형, C-1형, F형)로써 고정력은 외경이 5.5 mm군 에서는 163.1±37.8 kgf, 6.0 mm군에서는 185.3±34.3 kgf, 6.5 mm군 에서는 더 강하게 계측되었다. 이는 통계학적으로 유의성이 있었으며 (P<0.05), 외경에 따른 고정력의 상관관계(r=0.944)는 상당한 선형 유의성을 보였다.

**B) 내경에 따른 고정력**

사용된 나사못의 내경을 3.8mm에서 5.0mm으로 내경이 가장 작은 3.8mm의 고정력은 153.0±8 kgf(B-2형), 216.6±15.5 kgf(D형)이었고 가장 큰 내경인 5.0 mm에서는 181.4±13.9 kgf로 계측 되었으며 각 내경에 따른 고정력의 차이는 통계학적 유의성은 없었다 (P>0.05). 나사못의 내경을 3.8-4.0mm 4종류(B-1형, B-2형, C-2형, D형)와 4.5-5.0 mm 4종류 (A형, C-1형, E형, F형)로 대별하였을 경우에는 3.8-4.0 mm군에서는 186±30.5 kgf, 4.5-5.0 mm군에서는 199.2±41.5 kgf로 두군 사이의 통계적 유의성은 발견되지 않았다 (P > 0.05). 그러나 동일 제조회사의 나사못 (B형, C형)에서는 내경이 틀수록 고정력이 강하였으며 이는 통계적 유의성이 있었고 (P < 0.05)이들의 상관 관계 (R=0.674)는 선형 유의성을 보였다.

**C) 나사못 내경과 외경의 백분율에 따른 고정력 (d/D Ratio)**

나사못의 내.외경의 백분율(Minor diameter/ Major diameter X 100, d/D Ratio)은 61.5% 에서 83.0%까지 분포 하였으며 이에 따른 고정력은 68.6%인 F형이 가장 높았으며 (254.9±18.6 kgf), 75%인 A형에서 가장 낮았다. (157.6±34.5 kgf). d/D Ratio를 60-65%(B-1형, D형), 66-70%(B-2형, C-1형, C-2형, F형), 71%이상(A형,E형)으로 대별하여 고정력을 비교한 결과 각각 210.1±13.3 kgf, 187.3±55.1 kgf, 169.5±29.4 kgf로서 d/D Ratio가 60-65% 경우에서 가장 높은 고정력을 보였으며 이는 통계적 유의성도 있었다(P<0.05)

**D) 나사산 간격의 크기에 따른 고정력**

사용된 나사산 간격은 2mm, 3mm의 2종류로서 나사산 간격은 2mm가 5종류 (B-2형, C-1형, C-2형, E형, F형)이고 3mm가 3종류 (A형,B-1형, D형)였으며, 고정력은 각각 193.1±38.8 kgf, 195.4±32.8 kgf로써 나사산 간격이 3mm인 것이 고정력이 약간 큰 것으로 나타났다. 이들의 통계학적 유의성은 관찰되지 않았다(P>0.05). 또한 나사산의 높이가 1.0 mm 이상으로 고정력이 비교적 크게 측정되었던 나사못 4종류중 나사산 간격이 2.0 mm인 나사못(C-1형, F형)과 3.0 mm인 나사못(B-1형, D형)의 고정력은 각각 213.5±27.5 kgf, 228.1±14.4 kgf로써 2군의 통계학적 의미는 없었다(P>0.05).

**E) 나사산 높이(Thread Height)에 따른 고정력 (Table 4)**

나사산의 높이가 가장 작은 0.5mm에서의 고정력은 181.4±13.0 kgf, 가장 큰 1.25 mm에서는 211.8±11.6 kgf로 계측되었다. 또한 나사산 높이에 따라 대별하면 0.5-0.85 mm (A형, B-2형, C-2형, E형) 1.10-1.25 mm(B-1형, C-1형, D형, F형)로 나눌 수 있으며 이들의 고정력은 각각 166.3±32.6 kgf, 226.4±29.2 kgf로서 나사산의 높이가 높은 것이 고정력이 컸고 통계학적 의미도 있었으며 (P<0.05) 이들의 상관관계(r=0.935)는 선형 유의성이 있었다.

**F) 나사산의 모양(Thread Profile)에 따른 고정력**

나사산의 모양에 따른 고정력의 차이는 V-형이 157.6±34.5 kgf, Buttress형이 198.4±33.3 kgf로 Buttress형에서 높게 되었으나, 본 실험에서 사용된 나사못에서 V-형이 1종류(A형)이고, 나머지 5종류 모두에서 Buttress 모양이므로 이들의 고정력 비교는 의미가 없었다.

**IV. 고 찰**

척추경 나사못의 가장 큰 장점은 좁은 원통형의 척추경을 통하여 후방에서 척추체의 전방까지 나사못을 삽입하므로 강한 고정력과 고정력 (Correcta-bility and Fixation)을 갖는 점이다. Krag등<sup>9)</sup>, Zindrick등<sup>22)</sup>, Wittenberg 등<sup>23)</sup>은 척추경 나사못의 고정력에 영향을

미치는 인자에 대해 여러결과를 발표 하였는데, 척추경 나사못의 고정력에 영향을 미치는 인자들로써 척추 자체의 형태학적 특성(특히 척추경의 형태), 골밀도, 나사 자체의 특성(소재, 모양, 직경, 나사산 간격등) 및 나사못 삽입시의 수술 시기등이라 하였다.

Zindrick등<sup>22</sup>, Krag등<sup>8</sup>, Yamagata등<sup>19</sup>, Skinner등<sup>15</sup>은 척추경 나사못 삽입후에 나사못 축에 일치되는 인장력(Axial Pull-out Force)을 이용한 최대 고정력을 측정하였다. 그러나 이들이 사용한 실험재료의 척추는 대부분이 사망한 고령의 인체 척추로서 인체 척추를 실험대상으로 선택한 것에는 장점이 있으나, 연령에 따른 골조중등 대체에 따른 계속자 인자가 너무 많기 때문에 오히려 계측치의 객관성과 표준성이 결여된 것으로 판단된다. Yamagata등<sup>19</sup>은 골밀도가 0.1gm/cm<sup>2</sup> 떨어질때마다 장력에 대해 10 kgf의 고정력이 떨어짐을 밝혀내고, 80mg/cm<sup>2</sup>의 골밀도에서는 고정력을 전혀 기대할 수 없어 골세멘트의 보강을 권하였다. 이에 저자들은 실험 동물의 골밀도 변화에 의한 고정력의 오차를 가능한 배제하고자 골밀도를 전례에서 측정후후 기준치 이상(1.0gm/cm<sup>2</sup>)의 것만을 사용하였다.

Roy-Camille등<sup>13</sup>, Krag등<sup>8</sup>, Zindrick등<sup>22</sup> 및, Wittenberg등<sup>18</sup>이 척추경 나사못의 크기, 형태에 의한 고정력의 변화에 대해 많은 보고를 하였는데 특히 Wittenberg등<sup>18</sup>은 동일조건인 나사못중 직경만 다른 5mm, 6mm의 나사못을 삽입 하였을 경우의 고정력이 459±183N, 994±349N으로 직경이 큰 나사못에서 큰 고정력을 얻는다고 발표하였다.

저자들의 실험결과 모든 조건을 동일하게 하고 직경만을 다르게 하였을 경우에 나사못 고정력은 직경이 4mm에서 8mm까지는 증가되면서 Wittenberg등<sup>18</sup>의 결과와 유사하게 고정력이 증가 하였으나 외경이 9mm에서는 고정력이 현저히 떨어졌다. Krag등<sup>8</sup>은 원통형 뼈에서의 장력에 대한 나사못의 고정력은 나사의 직경이 뼈의 직경과 비슷하여지면 갑자기 떨어진다고 하였다. Misenhimer등<sup>11</sup>은 나사못의 직경이 척추경 협부의 골 내피질 직경 (Endosteal Diameter)보다 크거나, 외부 피골절까지 직경의 80%이상이면 척추경의 피질골이 소성변형 (Plastic Deformation)을 일으킴을 관찰하였다. 또한 저자들은 척추경의 단면적에 나사못의 단면적이 차지하는 비율을 저자의 의도에 맞게 선택하여 나사못삽입 후의 고정력을 비교, 측정한 결과에서 40-50%군에서는 가장 강력한 고정력을 보인 반면 70%이상의 군에서는 고정력이 현저히 감소됨을 관찰하였다. 이는 Misenhimer등<sup>11</sup>이 밝힌 바와 같이 나사못의 직경이 척추경 단면적에 대하여 일정비율 이상으로 클 경우 나사못 삽입에서 외피질골의 소성 변화에 의하여 고정력이 오히려 감소되는 것으로 사료된다. 따라서 저자들은 직경만의 변수를 생각할 경우에는 외경이 7-8mm의 나사에서 삽입 하고자 하는 척추경의 단면적의 50%정도가 되도록 삽입하였을 경우에 가장 강한 고정력을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Krag등<sup>8</sup>은 예비천공(Predrill)시 천공기(Drill Best)의 크기는 나사못 내경의 80%가 고정력에 가장 바람직하다고 하였다. 저자들의 실험에서는 사전 천공 크기와 나사 내경의 비교에서 70-75%군에서 가장 바람직하다고 하였다. 저자들의 실험에서는 사전 천공 크기와 나사 내경의 비교에서 70-75%군에서 가장 큰 고정력을 보였으나, 각군에 대한 통계학적인 유의성을 찾지는 못하였다. 따라서 천공기 크기에 따른 고정력 변화에 대한 최종결론은 동일 내경의 조건하에 천공기의 크기에 변화를 가하는 실험이 더 필요하리라고 사료된다.

임상에 쓰이는 나사못의 종류에 따른 고정력은 여러 인자가 복합적으로 작용하기 때문에 척추경 고정력이 어느 종류가 가장 좋고 하는 것이 용이하지않다. 8가지 나사못의 외경을 동일 내지는 근접한것끼리 조합을 하여 비교한 결과 외경이 클수록 고정력은 증가하였다(P<0.05). 이는 Wittenberg등<sup>18</sup>, Krag등<sup>8</sup> 및, Zindrick등<sup>22</sup>의 실험결과와 동일할 뿐 아니라 저자들의 실험 I 과도 동일하였다. Krag등<sup>8</sup>의 연구에서 언급되지는 않았지만, 그들의 자료를 저자가 분석한 결과 외경 6mm에 내경이 서로 다른 3.8mm(d/D=63.3%) < 5.0mm(d/D=83.3%)의 나사못을 이용하여 고정력을 측정한 결과

각각 1326N, 926N으로 상당한 차이가 있음을 보여주었으며, 나사못의 내,외경의 백분율이 고정력에 영향을 미칠수 있음을 암시하였다.

저자들의 실험에서는 d/D Ratio가 60-65%, 66-70%, 71%이상의 3군으로 나누어 고정력을 비교한 결과 비율이 60-65% 사이였을 때 가장 큰 고정력을 보여(P<0.05), Krag등<sup>8</sup>의 실험에서 d/D Ratio가 63.3%에서 83%보다 큰 고정력을 보인것과 일치하였다.

Skinner등<sup>15</sup>은 서로 특성이다른 형태의 나사못에 대한 해리 실험 결과 나사산 간격이 큰 것이 큰 고정력을 보였다고 주장하였으나, Krag등<sup>8</sup>은 동일 조건에서 내경과 나사산 간격에 변화를 주었을때 내경이 3.8mm인 나사못에서는 나사산 간격이 3mm인 경우에서, 내경이 5mm인 나사못에서는 나사산 간격이 2mm인 경우에 고정력이 크게 측정되어 나사산 간격에 따른 고정력은 의미가 없다고 하며 나사산 간격이 2mm의 것이 나사못 삽입시에 척추 경과의 마찰등을 감안할 때 삽입이 용이하다는 점을 들어 나사산 간격이 작은 나사못(2mm)을 권장하였다. 저자들의 실험에서는 나사산 간격이 3mm인 경우에서 약간 큰 고정력을 나타내었으나 통계학적 의미는 없었다(P>0.05). 그러나 Krag등<sup>8</sup> 및 저자들의 실험에서 내경,외경이 유사한 조건에서는 나사산 간격이 3mm인 나사못에서 약간씩 큰 고정력을 보였으므로 좀 더 정확한 규명을 위하여 동일 조건하에서 나사산 간격만의 변수로 실험이 필요하리라고 사료된다.

나사산의 높이에 따른 고정력의 실험은 Krag등<sup>8</sup>, Skinner등<sup>15</sup>의 실험에서 동일한 외경의 나사못에서 내경의 변화에 따른 고정력중 나사산의 높이만을 변화를 주었을때의 고정력측정에서 나사산의 높이가 0.5mm에서 0.79mm증가함에 따라 고정력은 976N에서 1326N으로 증가함을 측정 하였다. 저자들의 실험에서도 나사산의 높이가 1.0mm이상인 것과 이하의 것을 비교하였을때 나사산이 높은 것이 고정력이 큰것으로 나타났다.

나사산의 모양(V-형, 혹은 Buttress형)에 따라 고정력 측정결과 Buttress 형의 상면(Superior Surface)은 나사못에 미치는 하중에 직각으로 뼈와의 직각 접촉 면적이 V-형의 나사산 모양으로 넓다는 점 때문에 Buttress형이 우월한 고정력을 보인다는 것이 대부분 학자들의 공통적인 견해이다.

이상의 고찰에서 나사못의 각 특성에 따른 고정력의 비교는 다른 특성은 동일하다는 가정하에 이루어졌기 때문에 어떠한 종류의 나사못이 가장 우수한 고정력을 갖고 있다는 결론을 내리는 데는 논리적인 위함이 있으나, 각 특성에 따른 고정력 규명이 일차적으로 시행되어야 한다는 점에서 본 실험 논문의 의의 및 중요성이 있다고 하겠다.

V. 요약 및 결론

저자들은 척추 고정술시 사용되는 척추경 나사못의 크기, 형태에 따른 고정력의 변화를 규명하고자 성숙한 돼지의 척추를 이용한 생역학적 실험을 통하여 다음과 같은 요약 및 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일 조건에서 나사못의 외경에 따른 고정력은 직경이 클수록 증가하였다(P<0.05). 그러나 9mm이상의 나사못에서는 오히려 고정력이 감소 하였다.(P<0.05).
2. 나사못의 내경 증가에 따른 고정력 차이는 통계학적 의미는 없었다.(P<0.05)
3. 척추경 나사못의 단면적과 척추경 단면적의 비율은 40-70%군에서 강한 고정력을 보였다(P<0.05).
4. 나사못의 내경과 외경의 백분율에 따른 고정력은 60-65%에서 가장 높게 나타났다(P<0.05)
5. 나사산의 높이에 따른 고정력은 나사산이 높을수록 높았다(P< 0.05)
6. 나사못 간격의 크기에 따른 고정력의 차이는 나사산 간 크기의 증가에 따라 고정력의 증가를 보였으나 통계적 의미는 없었다(P>0.05).

이상의 결과를 요약하면 나사못의 각 개의 특성중 외경은 6-8 mm, 내경은 3.5-5 mm, 나사산 간 크기는 3 mm, Buttress형의 나사산 모양이 고정력에서 가장 우수할 것으로 사료되며, 수술 시기상의 인자로서 천공기(Drill Bit) 크기의 선택은 사용하고자 하는

나사못 내경의 70-75%, 사용하고자하는 나사못의 직경은 해당 척추경 직경의 50%에 해당하는 나사못에서 가장 좋은 고정력을 보일 것으로 사료되나 이에 대한 추가실험의 과정이 필요하리라 사료된다.

#### VI. 참고문헌

- 1) K-Boden SD and Wiesel SW : Spine, 15 : 571, 1990
- 2) Boucher H H : J. Bone and Joint Surg, 41B : 248, 1959.
- 3) Coe JD, Warden KE and Herzig MA et al : Apinr, 15:902-907, 1990.
- 4) Cotrel Y and Dubousset J : AO Trauma Course, Davos, Switzerland, December 1985
- 5) Dilland J, Trafimow J and Andersson GBJ et al : Spine, 16 : 321, 1991
- 6) Gunzburg R, Hutton W and Fraser R : Spine, 16 : 22, 1991.
- 7) Harrington P R : Clin. Orthop, 93 : 110, 1973
- 8) Krag M H, Beynonn B D and Pope M H et al : Clin. Orthop, 203 : 75, 1986.
- 9) Krag M H, Weaver D L and Beynonn B D et al : Spine, 13 : 27, 1988.

- 10) Luque E R , Cassis N and Ramirez - Wiella, G. : Spine, 7 : 312, 1982.
- 11) Misenhimer G R, Peek R D and Wiltse L L et al : Spine, 14 : 367, 1989.
- 12) Olsewski J M, Simmons E H and Kallen F c et al : J. Bone Joint surz. 72-A : 541. 1990.
- 13) Roy-Camille R, Saillant G and Beneaux D et al : Reconstr. Surg. Traumatol, 15 : 2, 1976.
- 14) Saillant G : Surgical application. Chirurg. Orthop, 62(2): 157, 1976
- 15) Skinner and Macybee J : Spine, 15 : 195, 1990.
- 16) Soshi S, Shiba R and Kondo H et al : Spine, 16 : 1335, 1991.
- 17) Wiltse L L : state of the art reviews, 6 : 1-10, 1992
- 18) Wittenburg R H, Lee K s and Shea M : Clin. Orthop, 296 : 287, 1993
- 19) Yamagata M, Kitahara H and Minami S et al : Spine, 17 : 51, 1992.
- 20) Zindrick M R : State of the art Review 6 : 11-23, 1992.
- 21) Zindrick M R and Doornick A : Spine, 12 : 160-166, 1987.
- 22) Zindrick M R, Wiltse L Land Holland W R et al : Clin-Orthop, 203 : 99, 1986.

Table 1. The Relationship between Screw Diameter and Pull-out Strength in Custom-made Screws.

Diameter(mm)		Drill Bit Dia./ Minor Dia(%)	Pitch(mm)	Thread Height(mm)	Thread Profile	Pull-out Test		
Major	Minor					Drill	No.of vert	Pull-out Load(kgf)
4	3	1.5	50.0	3	0.5	V	10	154.5 ± 24.9
5	4	2.5	62.5	3	0.5	V	10	177.9 ± 74.8
6	5	3.5	70.0	3	0.5	V	10	183.3 ± 46.5
7	6	4.5	75.0	3	0.5	V	10	184.7 ± 30.9
8	7	5.5	78.6	3	0.5	V	10	210.9 ± 56.9
9	8	6.5	81.3	3	0.5	V	10	134.1 ± 37.1

Table 2. The Relationship between Aspect ratio and Pull-out Strength in Custom-made Screws

Aspect Ratio(%)	No. of Vert.	Pull-out Strength(kgf)
30-39	9	167.9 ± 24.3
40-49	9	189.7 ± 56.0
50-59	12	173.5 ± 31.3
60-69	12	170.1 ± 34.5
70-79	9	168.1 ± 40.0
80-89	10	165.8 ± 40.2

\*Aspect Ratio(%): Major Diameter of Screw/Pedicle Diameter × 100

Table 3. The Characteristic Comparison of Commercial Screws

Type	Major Diameter D:(mm)	Minor Diameter d:(mm)	d/D (%)	Pitch (mm)	Thread Profile	No.of Ped	Pull-out Strength(kgf)
A	6.0	4.5	75.0	3	V	10	157.6 ± 34.5
B-1	6.5	4.0	61.5	3	B	10	211.8 ± 11.6
B-2	5.5	3.8	69.1	2	B	10	153.8 ± 34.2
C-1	6.7	4.5	67.2	2	B	10	202.7 ± 29.3
C-2	5.5	3.8	69.1	2	B	10	172.5 ± 42.8
D	6.0	3.8	63.0	2	B	10	216.6 ± 15.5
E	6.0	5.0	83.0	2	B	10	181.4 ± 13.0
F	7.0	4.8	68.6	2	B	10	254.9 ± 18.6

Table 4. The Pull-out Strength vs. Thread Height in Commercial Screws

Thread Height (mm)	Screw Type	Pull-out Strength(kgf)
0.50	E	181.4 ± 13.0
0.75	A	157.6 ± 34.5
0.85	B-2	153.8 ± 34.2
0.85	C-2	172.5 ± 42.8
1.10	C-1	202.7 ± 29.3
1.10	D	216.6 ± 15.5
1.10	F	254.9 ± 18.6
1.25	B-1	211.8 ± 11.6