

## 추체간 유합술의 안정성에 관한 실험적 연구

김현수\*(동아대학교 기계공학과), 박정호\*\*, 김종필\*\*(동아대학교 기계공학과 대학원), 이규열\*\*\*, 이명진\*\*\*(동아대학교 의과대학 정형외과학교실)

### A Experimental Study on the Stability of Lumbar Interbody Fusion

H. S. Kim (Mech. Eng. Dept., DongA University), J. H. Park, J. P. Kim(Graduated School of Mech. Eng. Dept., DongA University), K. Y. Lee, M. J. Lee(Department of Orthopedic Surgery, College of Medicine, DongA University)

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate a loosening process of screws through a fatigue test. Therefore, it is attempted to perform an interbody fusion on porcine lumbar spine using cage and screws. From the results, it is found that the combining force in both of the cylinder and the taper type screws located on the upper-left first start to decrease and then the combination between a rod and screw loosens. In addition, it is investigated that the life of taper type screw increases 5.5% and this fact is coincident with the previous results.

**Key Words** : Lumbar interbody fusion(추체간 유합술), Cage(전주고정용보철물), Fatigue test(피로시험)

#### 1. 서론

요추는 측면 관찰시 전방을 향해 만곡을 이루고 있으며, 사람마다 차이는 있으나 이 만곡의 정도와 추체간 간격은 어느 정도 일정한 형태를 유지하고 있다.<sup>1-4</sup> 그러나 과도한 외적 하중의 작용, 골다공증, 선천적 요인 등으로 인하여 이러한 만곡의 손실, 추체 위치의 변화, 추체간 간격의 협소화 등과 같은 질병이 발생할 경우 추궁을 통과하는 중추신경의 압박과 추체를 지지하는 인대의 손상 등으로 인하여 심한 통증이 발생하게 된다.<sup>5</sup>

요추에 시행되는 수술적 치료에는 그 증상의 경중(輕重)과 수술 부위, 수술 방법, 수술 도구에 따라서 다양한 형태를 가지나, 공통적으로 소실된 만곡의 회복과 충분한 추간격 확보를 통해서 추체가 적절한 위치에 놓이도록 한다는데 그 목적이 있다.

이중 척추경 나사못을 이용한 추체간 유합술은 골유합율이 높고 입원기간을 줄일 수 있으며, 빠른 재활을 할 수 있다는 장점 때문에 추체간 유합술중

가장 빈번하게 시행되어져 왔다.<sup>6</sup>

특히 수술 초기에 골유합의 성공률을 높이고 추간격의 안정적 확보를 위하여 척추경 나사못과 Interbody Cage를 함께 시술하기도 한다.<sup>7,8</sup>

Kim<sup>9</sup> 등은 척추경 기기를 사용한 전방요추체간 유합술에서 전방은 자가골에 의해, 후방은 척추경나사에 의해 유합을 시도하였으나, 자가골의 붕괴등으로 인해 만족스럽지 못한 유합을 보였다고 보고하였고, Kim<sup>10</sup> 등은 요추전방 전위증에서 Cage를 쓰지 않고 나사만으로 골유합을 시도한 결과 추간관의 높이 감소가 최종 추시결과 두드러지며 이에 추간관 높이를 유지하기 위한 수술법이 필요하다는 보고를 낸 바 있다.

Suk<sup>11</sup> 등은 척추경 나사의 고정에 쓰이는 강봉의 굽힘강도를 재질별, 직경별로 분류하고 3-point bending test 를 실시하여 7mm Stainless Steel 이 모든 조건에서 가장 큰 강도를 보인다고 보고하였다.

수술후 일정 기간이 지나면 환자는 다시 정상인과 같은 생활을 하게되며, 수술 부위는 정상인이 일반적으로 받는 다양한 하중에 접하게 된다. 이 과정

에서 약 7.5%의 환자는 골-나사의 해리현상, 나사-Rod의 해리현상, 나사의 파괴 등의 금속실패가 발생하게 되며<sup>12,13</sup>, 이제까지 이러한 현상은 후향적 방법에 의거한 통계적 방법에 의해서만 분석이 이루어져 왔으며, 실제 수술부위의 와해과정을 직접 주시 관찰한 경우는 없었다. 그러나 이 경우 관찰 대상이 인체라는 특수성으로 인해 수술 부위를 가시적 차원에서 지속적으로 관찰하는 것은 불가능하므로 주로 방사선 검사에 의해 수술 후 관절의 유합과 이의 지속여부를 관찰하게 된다.

이에 본 논문에서는 인체와 유사한 특성을 지닌 돼지의 추체를 이용하여 추체간 단분절 유합술이 행하여진 상황을 구현하고, 이를 인체에 가해지는 하중 중에 가장 지배적인 하중인 수직 압축 하중에 의한 피로 시험을 행하여, 나사의 모양에 따른 추체와 나사, 나사와 Rod, 추체와 Cage 간에 발생하는 역학적 거동을 살펴보고자 한다.

## 2. 본 론

본 실험에 사용된 돼지는 베이컨형 대요크셔종 암돼지로서 110kg에 질병이 없고 국내에서 사육, 도축되었으며, 동원산업[부산시 사상구 모라1동 270-3]의 협조를 받아 실험과 무관한 부위는 모두 제거하고 추체부위만 절취하여 실험 전까지 영하 17℃에서 냉동 보관하였다. 이를 실험 3시간 전에 꺼내어 연부조직을 모두 제거하고 실험에 사용하였다. 시험기는 SHIMADZU 피로시험기[Controller Model 4825]를 사용하였고 Fig. 1에서 이를 보여주고 있다.



Fig. 1. SHIMADZU Fatigue Tester [Controller Model 4825]

나사는 Stainless 316L의 원통형과 Taper형 두 종류를 사용하였으며 원통형은 길이가 40mm, 나사의 외경이 6mm, 내경이 4.8mm이며, Taper형은 길

이가 40mm, 나사의 외경은 6mm, 내경은 나사의 목부분에서 5mm, 끝부분에서 3.5mm이다. Cage는 10 × 11 × 22의 상자형으로 Titanium제질이며, Rod는 직경 6mm의 Stainless 316L을 사용하였다.

3mm의 드릴을 이용하여 추체에 예비 천공 후, 기존의 추체 위치에 대한 임상 자료를 참고하여 나사를 삽입하고<sup>14</sup>, 정상 요추 L3-L4, L4-L5가 가지는 분절각 9° ~ 14°을 고려하여 Rod와 Cage를 추체 사이에 삽입하였다.<sup>1</sup>

하중은 400N의 예비하중이 가해진 상태에서 5Hz의 하중이 최대 600N을 넘지 않게 설정하였으며, 나사가 고정된 4부분 중 임의의 한 부분에서 고정력이 상실 됐을 때 실험을 종료하는 것으로 하였다.<sup>15-16</sup> Fig. 4에서 시험기에 장착된 추체를 보여주고 있다.



Fig. 4. Vertebrae mounted on tester machine

## 3. 결 과

실험 결과, 두 경우 모두에서 상부에 있는 나사가 먼저 결합력을 상실하는 것이 관찰되었으며, 원통형 나사의 경우 3,672,000 cycle(약 8.5일), 점감된 나사의 경우 3,888,000 cycle(약 9일)의 수명주기를 나타내었다. 또한 두 경우 모두에서 상부 왼쪽의 나사가 먼저 결합력을 상실하였다. 이는 나사의 뽑힘력에 대한 이전의 연구 결과와도 상응하는 결과이며 나사의 감기는 방향과 위치에 따른 비대칭성때문에 왼쪽나사에서 응력집중현상이 발생하기 때문이다.<sup>17</sup>

결합력의 상실은 먼저 추체와 나사 사이에서 발생하였으며, 이후에 나사와 Rod의 결합력이 약화되는 현상을 관찰할 수 있었다.

## 3. 분 석

Cage와 척추경 나사를 이용한 추체간 유합술은 전후방의 지지를 통해 추체 간격의 회복, 위치의 보정을 통해 통증을 완화하고 정상적인 생활을 지속적으로 영위함에 그 목적이 있다. 따라서 수술의 기법의 발전과 함께 다양한 종류의 나사와 Cage, 이의 삽입을 위한 수술장비 등의 개발이 이루어져 왔다.<sup>18</sup>

결합력의 상실은 두 경우 모두 상부 왼쪽 나사에서 발생하였다. 이는 UHMWPE 를 이용하여 단분절 추체모델을 만들고 압축피로시험을 수행한 이전연구와 상응하는 결과이며<sup>17</sup>, 척추경 나사를 이용한 요추의 단분절 유합시, 장시간의 주기적 하중에서는 좌우의 비대칭이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

또한 원통형에 비하여 점감된 형태의 나사가 5.5%정도 수명이 긴 것으로 나타났으며, 이는 점감된 형태의 나사가 뽑힘강도와 삽입력이 큰 것으로 나타난 이전의 연구결과와 관련하여, 삽입력이 클 경우 뽑힘강도는 물론 굽힘에 대한 강도 역시 크다는 것으로 사료된다.<sup>19</sup>

결합력의 상실은 추체와 나사사이에서 먼저 발생하였으며, 이후에 나사와 Rod 의 결합력이 약화되는 것이 관찰되었다. 이는 본 연구에 사용된 나사와 Rod는 나사와 Rod의 결합 시, 나사뒷부분에 Rod 를 결합시키는 보조나사가 Rod를 강하게 밀착시켜 고정하는 방식을 채택하고 있기 때문이다. 이 경우 수술시 조작이 간편하고 질병이 표준화되지 않은 상황에서 수술시 상황에 맞게 변형-조정이 가능하다는 장점이 있으나, Rod가 추체의 미세한 변형이나 운동이 발생할 경우 나사로부터 쉽게 풀려 나갈 위험성이 있다는 단점이 있다. 따라서 지속적인 하중부가로 인하여 추체에서 나사가 미세하게 회전하게 되는 경우 Rod가 헐거워져 결합력을 상실하게 되는 것이다.

#### 4. 결 론

돼지 요추를 이용하여 추체간 단분절의 유합술이 시술된 상황을 구현하고 예비하중이 가해진 상태에서 나사의 모양에 따른 두가지 모델에 대하여 피로시험을 수행한 결과 다음의 결과를 얻었다.

1. 원통형과 점감된 형태 모두에서 왼쪽 상부 나사가 먼저 결합력이 상실되는 것이 관찰되었다.

2. 나사의 결합력 상실 후 나사와 Rod의 결합력이 상실되는 것이 관찰되었으며, 이는 나사와 Rod를 결합하는 방식에서 오는 현상으로 확인되었다.

3. 원통형에 비하여 점감된 나사의 수명이 5.5% 길게 나타났다. 이는 나사의 삽입력과 뽑힘력 관한 이전논문의 결과와 상응하는 결과이다.

4. 나사와 Rod의 결합력의 상실은 나사의 미세한 변형에서 발생하며, 이는 본 연구에서 사용된 나사의 경우 Rod를 나사에 고정하는 보조나사가 Rod를 강하게 밀착고정하기 때문으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Lee, J.S., Oh, W.H., Jeong, S.S., Lee, S.G. and Lee, J.Y., "Analysis of the Sagittal Alignment of Normal Spines" Journal of Korea Orthop Assoc , Vol 34 , No 5 , pp 949-954 , 1999
2. Jang, J.S. and Moon, S.H., "Correlation of the Bone Mineral Density with Morphometric Dimension and Characteristics of Osteoporotic Vertebral Fracture" Journal of Korea Orthop Assoc , Vol 33 , No 2 , pp 375-384 , 1998
3. Kim, H.J., Jang, J.W., Youm, J.S., Kim, G.H., Jeong, Y.H., Lee, S.H. and Choi, W.S. , "A Comparative Analysis of Sagittal Spinal Balance in 100 Asymptomatic Young and Older Aged Volunteers" Journal of Korean Spine Surg, Vol 10 , No 4 , pp 372-384 , 2003
4. Kim, N.Y., Moon, S.H. and Kim, D.H., "Spinal Dimension and Shape VARIation in Koreans - Radiographic Quantitative Morphometry-" Journal of Korea Orthop Assoc , Vol 33 , No 7 , pp 1611-1619 , 1998
5. Chen, D., Fay, L.A., Lok, F., Yuan, P., Edwards, W.T. and Yuan, H.A., "Increasing Neuroforaminal Volume by Anterior Interbody Distraction in Degenerative Lumbar Spine" The Spine Journal , Vol 20 , pp 74-79 , 1995
6. Lee, J.Y., Kwon, D.J., Shin, S.I., Song, G.W. and Park, I.H., "Prospective Comparison between the Anterior Interbody Fusion and the Posterolateral Fusion" Journal of Korean Spine Surg, Vol 7 , No 3 , pp 379-385 , 2000
7. Suk, K.S., Jeon, C.H., Lee, H.M., Kim, N.H. and Kim, H.C., "Comparison between Posterolateral

- Fusion with Pedicle Screw Fixation and Anterior Interbody Fusion with Pedicle Screw Fixation in Spondylolytic Spondylolisthesis of the of the Lumbar Spine" *Journal of Korean Spine Surg*, Vol 6 , No 3 , pp 397-406 , 1999
8. Kim, H.S. and Park, J.H., "FEM Analysis of Lumbar Interbody Fusion Using the Cage and Screw in Relation to Bone Mineral Density" *J.Biomed.Eng.Res*, Vol. 25, No. 6, pp. 431-438, 2004
  9. Jeong, J.Y., Seo, H.E. and Kim, J.S., "The Result and Affection Factor of Posterior Lumbar Interbody Fusion with TPM Cage in Spondylolisthesis" *Journal of Korean Spine Surg*, Vol 7 , No 4 , pp 586-596 , 2000
  10. Kim, D.J. and Oh, D.G., "Change in Sagittal Plane of the Lumbar Spine in the Patients with Anterior Lumbar interbody Fusion and Pedicle Instrumentation and its Influencing Factor" *Journal of Korea Orthop Assoc* , Vol 38 , No 1 , pp 79-84 , 2003
  11. Kim, G.T., Suk, G.S., Kim, J.M., Shin, D.J. and Shin, N.C., "Result of the Posterolateral Fusion Using a Pedicle Screw for the Spondylolisthesis" *Journal of Korea Orthop Assoc* , Vol 36 , No 2 , pp 167-172 , 2001
  12. Suk, S.I., Kim, J.H., Lee, S.M., Jeong, E.R., Kim, G.H., Cho, S.T., Lee, S.J., Kim, B.J., Lee, J.H. and Song, H.M., "Bending Stiffness of Rod in Pedicle Screw System" *Journal of Korean Spine Surg*, Vol 8 , No 2 , pp 130-135 , 2001
  13. Lee, G.Y., Kim, C.H. and Song, C.G., "Metal Failure of Pedicle Screw System" *Journal of Korean Spine Surg*, Vol 9 , No 2 , pp 157-163 , 2002
  14. Mcfee, P.C., Farey, I.D., Sutterlin, C.E., Gurr, K.R. and Wrden, K.E., "The Effect of Spinal Implant Rigidity on Bone Density : a Canine Model" *The Spine Journal* , Vol 16 , pp 422-427 , 1991
  15. Youm, J.S. , Jeong, M.S. , Lee, C.G. , Jang, B.S. , Kim, Y.H., Kim, N.G. and Lee, J.B., "Computer-assisted Evaluation of Pedicle Screw Position on CT Image" *Journal of Korea Orthop Assoc* , Vol 38 , No 2 , pp 165-171 , 2003
  16. Wittenberg, R.H., Shea, M., Edwards, W.T., Swartz, D.E., White, A.A. and Hayes, W.C., "A Biomechanical Study of the Fatigue Characteristics of Thoracolumbar Fixation Implant in a Calf Spine Model" *The Spine Journal* , Vol 17 , No 6 , pp 121-128 , 1992
  17. Chen, P.O., Lin, S.J., Wu, S.S. and So, H., "Mechanical Performance of the new Posterior Spinal Implant Effect of Materials , Connecting Plate , and Pedicle Screw Design" *The Spine Journal* , Vol 28 , No 9 , pp 881-887 , 2003
  18. Taylor, D., O'Reilly, P., Vallet, L. and Lee, T.C., "The Fatigue Strength of Compact Bone in Torsion" *Journal of Biomechanics* , Vol 36 , pp 1103-1109 , 2003
  19. Lee, H.J., Choi, H.S., Ahn, M.H. and Song, J.I., "Mechanical Characterization of the Pedicle Screw System for Thoracolumbar Spine" *J.Biomed.Eng.Res* , Vol 23 , No 1 , pp 17-26 , 2002