

반복 하중 후 골밀도 감소에 따른 척추경 나사못의 고정력(Pullout Strength) 감소 형태 분석

°정덕영, 이성재, 김동수*, 신정욱, 김원중**, 석세일**

인제대학교 의용공학과, *인제대학교 상계백병원 정형외과, **인제대학교 상계백병원 척추센터

Biomechanical analysis of pullout strength of the pedicle screws in relation to change bone mineral density

D. Y. Jung, S. J. Lee, D. S. Kim*, J. W. Shin, W. J. Kim**, S. I. Suk**

Department of Biomedical Engineering Inje Univ., *Department of Orthopedic Sanggye
Pack Hospital Inje Univ., **Seoul Spine Institute Inje Univ.

ABSTRACT

Screw loosening and subsequent pullout can be attributed to the reduction in bone mineral density in the vertebrae manifested by osteoporosis in which the decrease in fixation strength between the cancellous bone and screw threads are accelerated by repeated loads exerted by patients own weight and activities following the surgery. In this study, the change in pullout strength of the pedicle screws was investigated before and after repeated loads were imparted. For this purpose, Diapason pedicle screws (6.7x40mm) were inserted onto fresh porcine spine specimens (T1-L5) after bone mineral density was measured using a DEXA. With an MTS, an axial load was applied at a loading rate of 0.33mm/sec until failure to measure the maximum pullout strength. Flexion moment of 7.5N-m was then imparted at 0.5Hz for 2000 cycles. It was found that the maximum pullout strength was exponentially related to BMD regardless of load types ($339.43 \times \exp^{(1.43 \times \text{BMD})}$, $r^2=0.93$, $P<0.0001$ without repeated load; $107.71 \times \exp^{(2.19 \times \text{BMD})}$, $r^2=0.78$, $P<0.0001$ with repeated load). The results suggest that the reduction in pullout strength for pedicle screws is far more prominent in osteoporotic spine than in normal spine especially as number of repeated load was increased. More importantly, it was demonstrated that the level of bone mineral density and the activity level of the patient should be evaluated in more detail for successful implementation of pedicle screw systems in spinal surgery.

1. 서론

척추경 나사못은 척추경을 통한 강한 고정력을 얻음으로써 우수한 안정성과 최소한의 척추 분절 유

합(fusion)으로 3차원 고정 및 견고한 고정이 가능하다는 이유로 최근까지 많이 발전해 왔다. 이러한 이점으로 인해 척추 변형, 퇴행성 척추 질환, 척추 골절 등 척추 고정 수술에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이러한 높은 사용 빈도에도 불구하고 나사못의 파손, pullout 그리고 느슨해짐(loosening) 등의 이유로 척추 고정 수술의 실패율이 증가되었다. 이러한 실패의 근본적인 이유는 나사못 자체의 형태학적인 다양한 변수와 골다공증으로 인한 골밀도(BMD, g/cm^3)의 감소 그리고 환자가 수술을 받은 후 자체 무게나 보행으로 인한 지속적인 하중에 따라 나사못과 뼈 사이의 고정력 약화에 기인한다. 그러나 이전의 많은 연구들은 수술 후 발생하는 반복 하중을 고려하지 않고 단지 나사못의 여러 가지 변수 즉 외경/내경, 나사산의 형태, 나사산의 간격(pitch), 나사못의 모양, 그리고 골밀도에 따른 고정력의 차이만을 연구하여 실제적인 임상 상황이 고려되지 않았다.^{1),2),5)}

본 연구에서는 골밀도의 감소에 따라 반복 하중을 가하지 않은 나사못과 반복 하중을 가한 후 나사못의 고정력의 변화 형태를 생체 역학 실험을 통해 비교하였다.

2. 실험 방법

9개월 미만의 신선한 돼지(yorkshire) 척추(T1-L5)를 사용하였다. 방사선을 통한 시편의 이상 유무를 검사하고, Dual energy x-ray absorptiometer(DEXA; Lunar; Madison, Wisconsin)를 사용하여 BMD를 측정하였다. 각각의 척추체를 분리하고 연 조직을 완전히 제거한 다음 시편을 -20°C 에서 보관하였다. 시편은 전방 수술 빈도의 증가와 돼지 뼈와 사람 뼈와의 해부학적 차이를 최소화하기 위해 척추 물체를 사용하였다. 고정력 실험을 위한 나사못은 Diapason(6.7x40mm; DMSO, Paris, France)을 사용하였다(Fig. 1, B). 척추경 나사못의 외경 70%에 해당하는 천공기(drill bit)로 예비 천공(predrilling) 후 표준 수술 기법에 의해 척추의 몸체 측면에서 양피질 고정

(bicortical fixation)방법을 사용하여 일정한 깊이로 삽입하였다.

고정력 실험을 위해 치과용 resin (Bosworth Fastray; Harry. J. Bosworth Co., Skokie, IL, USA)을 사용하여 척추 몸통을 실린더형의 컵에 매몰시켰다. 컵의 한쪽을 MTS 858 Bionix test system (MTS System Corp., Minneapolis, MN, USA)에 고정시키고 나사못의 머리 부분은 servohydraulic jig에 고정시켰다. 고정력 실험은 나사못의 축방향과 일치하게 0.33 mm/sec의 속도로 인장력을 가하여 나사못이 완전히 빠와 해리될 때 하중 및 변위를 0.2초 간격으로 기록하고 최대 고정력(Pullout Strength)를 구하였다. 반복 하중은 문헌²⁾에 근거하여 나사의 머리와 힘의 방향이 수직이 되도록 하였으며, 0.5 Hz, 7.5N-m의 굽힘력(flexion moment)을 2000번 가한 후 위와 동일한 방법으로 고정력 실험을 하였다. 반복 하중 전, 후의 BMD의 감소에 따른 고정력 변화 형태를 추정하기 위해 SPSS(Version 7.5, window 95)를 이용한 비선형 회귀분석을 사용하였다.

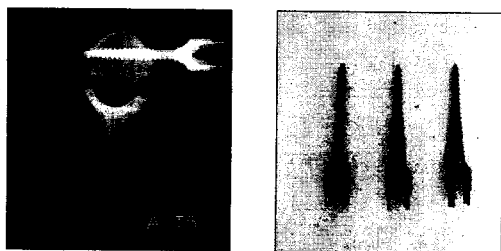


Fig. 1 Radiographs of pedicle screw(A), Diapasons(B)

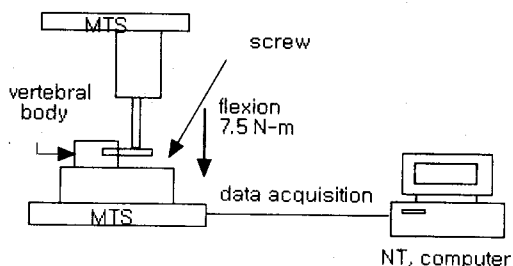


Fig. 2 Schematic diagram of cyclic loading test

3. 결과 및 고찰

반복 하중을 가한 후 BMD의 감소에 따른 고정력은 지수 함수적인 감소 관계를 보였다. 또한 Fig. 3에서 보여주는 것처럼 반복 하중을 가한 후가 반복 하중을 가하지 않은 상태보다 BMD가 낮아질수록 고정력은 더 급격히 떨어짐을 볼 수가 있다. BMD가 각각 0.7g/cm², 1g/cm²인 경우 반복하중을 가한 후 고정력은 약 47%, 33%가 감소하였다. 이러한 사실은 척추 고정 수술 후 골다공증을 가진 환자가 골다공증이 없는 환자보다 더 고정력이 약화되어 많은 척추 고정 수술 실패를 야기 할 수 있음을 시사한다. 반복 하중을 가하지 않은 상태(Fig.

3, A)에서 BMD의 감소에 따른 고정력 감소식은 고정력 = 339.43 × exp^(1.43×BMD)(adjust r²=0.93, P<0.0001)이었다. 그리고 반복 하중을 가한 후 BMD의 감소에 따른 고정력 감소 식은 고정력 = 107.71 × exp^(2.19×BMD) (adjust r²=0.78, P<0.0001)이었다(Fig. 3, B). 그러나 기존의 연구에 의하면 반복 하중을 가하지 않은 상태에서 BMD의 감소에 따른 고정력은 선형적인 감소 관계를 가진다고 보고되었다.^{2),5)}

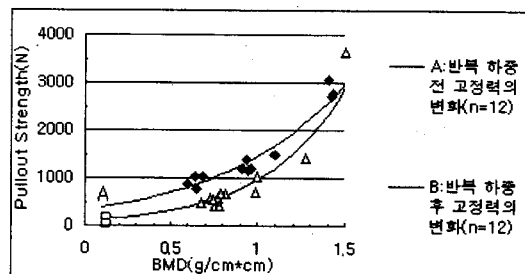


Fig. 3 The change in pullout strength of the pedicle screws before(A) and after(B) repeated loads were imparted

4. 결론

반복 하중을 가하기 전이나 후 모두 BMD의 감소에 따른 고정력은 지수 함수적으로 감소하였으며, BMD의 감소에 따른 고정력은 반복 하중을 가하기 전보다 반복 하중을 가한 후가 더 급격히 떨어졌다. 이러한 사실은 척추 고정 수술 후 자체의 몸무게나 보행으로 인한 지속적인 하중을 받게 될 경우 골다공증이 없는 환자보다는 골다공증을 가지고 있는 환자가 척추 나사못의 고정력 약화로 인해 척추 고정 수술의 실패를 더 많이 유발 할 수 있음을 시사한다.

5. 참고 문헌

- 1) 김기택, 이상현, 김영우, 홍규표, 문무성, "척추경 나사못의 모양이 고정력에 미치는 영향에 대한 생체역학적 연구", 대한정형외과학회지, pp350-358, 33권, 2호, 1998
- 2) T. A. Zdeblick, D. N. Kunz, M. E. Cooke, and R. McCabe, "Pedicle Screw Pullout Strength", Spine, pp1673-1676, Vol.18, No.12, 1993
- 3) R. Skinner, J. Maybee, E. Transfeldt, R. Venter, W. Chalmers, "Experimental Pullout Testing and Comparison of Variables in Transpedicular Screw Fixation", Spine, pp195-201, Vol.15, No.3, 1990
- 4) L. H. Lieberman, R. Khazim, T. Woodside, "Anterior Vertebral Body Screw Pullout Testing", Spine, pp908-910, Vol.23, No.8, 1998
- 5) S. Soshi, R. Shiba, H. Kondo, and K. Murota, "An Experimental Study on Transpedicular Screw Fixation in Relation to Osteoporosis of the Lumbar Spine", Spine, pp1335-1341, Vol. 16, No.11, 1991