

골다공증이 있는 척추수술에서 척추체 보강 및 척추경 나사못 고정 전략

인제대학교 의과대학 일산백병원 정형외과학교실

김 진 환

Strategies for Vertebral Augmentation and Increasing Pedicle Screw Purchase in the Osteoporotic Spine Surgery

Jin Hwan Kim

Department of Orthopedics, Inje University Ilsan Paik Hospital, Goyang, Korea

The surgical treatment of osteoporotic bone is remarkably increasing with aged population. The problem of osteoporotic bone surgery is bone-implant failure such as screw pullout or cutout due to poor bone quality. In the osteoporotic spine, pedicle screw fixation is highly correlated with the bone mineral density. In order to enhance the fixation stability at osteoporotic spine surgery, we need a systematic approach with meticulous preoperative planning, careful intraoperative procedure and detail postoperative management. A couple of principle to reduce stress on bone implant interface are extensive release for the deformity, avoiding forceful reduction, adding anterior structural graft, good sagittal balance and avoiding to increase strain at spinal transition zone. Meticulous insertion technique such as preservation of dorsal cortex at hole, untapping of hole, anterior cortex penetration and proper screw trajectory are important. The pedicle screw design and augmentation can also affect the fixation stability. The screw with larger diameter and expandable shape have some advantage for pullout strength. The most common method for vertebral body augmentation is adding with bone cement. The other techniques for augmentation are multiple point fixations with bone graft, additional laminar hook or sublaminar wire and additional polyethylene tape. Postoperative management with brace and medication can enhance the bone union.

Key Words: Osteoporosis, Spine, Pedicle screw, Augmentation

골다공증은 가장 흔한 대사성 질환이자 골절이 발생할 때까지 그 증상이 잘 나타나지 않는 침묵의 병(silent diseases)으로 알려져 있다. 또한 전신을 침범하는 질환으로 이론적으로 모든 뼈에 침범될 수 있기 때문에 골절 치료를 포함한 정형외과적 치료에 중대한 영향을 미칠 수밖에 없는 질환이다. 특히 골

절 치료에서 흔히 사용되는 금속 기계 고정(metal instrument fixation)시에도 문제점이 발생되는데, 가장 흔한 골-금속이식 실패(Bone - implant failure)기전은 screw pullout이며 이는 골다공증으로 인한 골소실에 기인되는 것이 가장 중요한 요인이다.

이러한 문제점에도 불구하고 골다공증이 있는 환

Received: December 15, 2014 **Revised:** December 20, 2014 **Accepted:** December 25, 2014

Corresponding Author: Jin Hwan Kim, Department of Orthopedics, Inje University Ilsan Paik Hospital, Juhwao-ro 170, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do 411-706, Korea

Tel: +82-10-8723-8434, Fax: +82-31-925-9894, E-mail: oskim@paik.ac.kr

자에서의 내고정술은 절대적 필요성의 증가에 따라 다양한 방향으로 발전되어 왔는데, 특히 bicortical fixation과 같은 술기상의 문제, 나사못과 금속판의 디자인과 같은 implant 자체의 개선, 골대체물질이나 추가적 금속 대용물(ex. wire, suture anchor)을 이용한 augmentation 방법 등이 중요 내용이다.

한편으로 골다공증성 척추는 주변의 중요 신경, 혈관조직의 위치로 인한 술기상의 주의 및 제한, 다른 골과 달리 소주골(trabecular bone)이 많아 충분한 고정을 얻기 어렵고 해부학적 특성상 bicortical fixation을 모두 시행할 수 없는 단점이 있다. 또한 척추에서 흔히 사용되는 금속 기구인 척추경 나사못(pedicle screw)은 수술시 고정력이 골밀도(bone densitometry)와 아주 깊이 연관되어 있다고 보고되어 있다.¹

따라서 골다공증성 척추 골절에서나 변형환자에서 수술시 어떻게 충분한 고정력을 얻고 유지할 수 있는가가 중요한 이슈로 대두되어 있다. 본 논문에서는 골다공증이 있는 척추에서 골절이나 변형으로 인한 치료시 충분한 수술적 고정을 얻기 위한 방법을 척추체 보강과 척추경 나사못 술기 중심으로 고찰해 보고자 한다.

골다공증성 척추에서 수술적 치료시 문제점

골다공증성 척추에서 행해지는 수술적 치료는 척추 골절과 측만증이나 후만증 변형, 협착증과 같이 신경감압술이 행해지는 경우에 골조직의 제거로 불안정성이 발생될 수 있어 고정술이 필요한 경우 등에서 적응이 된다. 구체적인 술기로는 척추체의 골절이나 종양의 발생시 척추체를 보강하는 경피적 척추성형술(Percutaneous Vertebroplasty) 혹은 풍선 척추성형술(Balloon Kyphoplasty)이 있으며 척추 골절이나 변형, 종양 등의 수술시 척추분절(Spinal segment)의 고정과 유합을 위해 척추경 나사못(pedicle screw)과 강봉(rod)을 이용하는 기기고정술이 있다. 척추성형술은 척추체 안에 골 시멘트를 삽입하여 척추체의 강도를 보강하기 위한 술기인데, 삽입하는 시멘트가 장기적으로 비교적 안정적이긴 하나 근본적으로 골유합이 일어나지는 않기 때문에 일부에서

는 척추체와 시멘트의 붕괴가 보고되기도 한다.² 따라서 장기적인 관점에서 새로운 골대체재를 이용한다 보다 생물학적인 척추체 보강의 필요성이 대두되고 있다. 척추경 나사못을 이용한 기기고정술은 1990년대 초 척추체를 안정적으로 고정할 수 있는 가장 강력한 기기로 처음에 요추부 위주로 사용되어졌던 것이 흉추와 경추에 이르기까지 척추부 전반에 보편적으로 사용되어지고 있다. 척추경 나사못은 정상적인 척추의 경우 척추경내에 80%를 채워지게 삽입할 경우 최대 pullout strength에 이르며 젊은 사람의 경우 척추경 직경의 115%까지는 pullout strength를 유지하며 삽입할 수 있는 것으로 알려져 있다.³ 그러나 이미 골량과 골질이 떨어져 있는 골다공증성 척추의 경우는 이러한 고정력을 얻을 수 없기 때문에 교정 소실(loss of reduction), 나사못 pullout, 변형의 진행(Progressive deformity) 등의 문제가 생기게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 전신을 침범하는 대사질환이라는 골다공증의 특성에 맞게 다방면의 치료적 접근이 필요하다. 즉 척추체와 수술기구의 고정력을 높이기 위해서는 수술전 골다공증의 치료와 Bone implant intersurface의 긴장(stress)을 줄이기 위한 세부적 수술 계획이 필요하며 수술시에는 나사못에 가해지는 긴장(stress)을 줄여주며, 삽입하는 나사못의 고정력을 높이기 위해 삽입 술기를 최적화하는 여러 방법을 이용하여야 하며 나사못 자체의 디자인이나 모양에 대한 연구와 나사못을 보강(augmentation)하는 여러 방법들에 대한 고려도 필요할 것이다. 그리고 수술후 재활과 관리시에도 보조 기구나 술후 골다공증 치료관리에 대한 부분도 중요한 고려요인이 될 것이다.

수술전과 수술시에 Bone implant intersurface의 긴장(stress)을 줄이기 위한 세부적 수술 계획과 방법으로는 변형의 경우에 충분한 연부 조직 박리와 함께 추간관 및 골조직의 제거를 통한 교정이 중요하며 이러한 고정력을 보강하고 유합을 얻기 위한 전방 이식골이나 골 대체재 삽입이 필요할 수 있겠다. 이를 통해 적절한 시상면 균형(Sagittal balance)을 얻는 것이 장기적인 관점에서 중요하다. 골절이나 변형 교정시에 지나치게 무리한 힘을 이용한 과도한 교정도 실패의 원인이 될 수 있어 피해야 하며 척추의

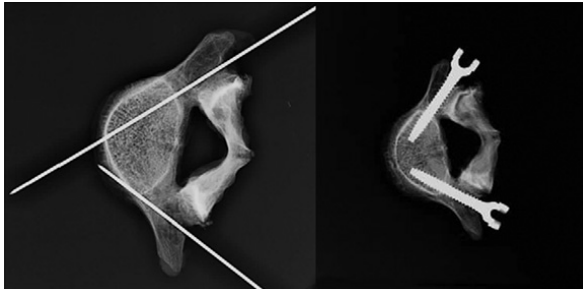


Fig. 1. Preservation of dorsal cortex and convergence angle is important to enhance fixation stability.

생역학적 관점에서 문제가 될 수 있는 경요추부 및 흉요추부 이행부위(spinal transition zone)의 긴장이나 압력이 발생하는 기기고정은 주의를 요한다.

척추경 나사못 삽입시 고려할 사항

척추경 나사못 사용시의 술기상의 주의점으로 수술시 척추경의 피질골이 잘 보존되고 최대한의 고정력을 얻을 수 있는 깊이와 넓이를 판단하여 고정하여야 한다. 척추경 나사못 고정 술기 중 나사못 삽입 시작점에서 burr나 송곳(awl)을 사용하여 피질골에 표시나 구멍을 내고, drill bit을 이용하여 협부 아래까지 예비구멍을 깊게 만들고 탐침(probe)으로 추체 전방 부위까지 도달시키고 척추경 주위를 확인하게 되는데 이때 시작부위 주변의 피질골 특히 외측부위의 피질골 보존에 유의해야 한다. Stauff 등은 골다공증성 척추를 가지고 있는 사체를 이용한 실험에서 외측벽이 파손되어 방향을 수정해 삽입한 척추경 나사못의 최대 삽입 토크(maximal insertional torque)나 axial pullout strength 등이 정상적으로 외측 피질골이 잘 보존되어 삽입된 나사못보다 의미있게 약한 것을 보고하였다(Fig. 1).⁴ 삽입 깊이는 척추체 전후 직경의 80%를 삽입했을 때 32% 정도의 pullout 강도의 증가가 있다고 알려져 있다.

Tapping 유무와 삽입 각도나 방향에 대한 고려도 중요하다.

Kuklo 등에 의하면 생역학적 실험으로 실시한 흉추 척추경 나사못 고정시 Tapping 직경을 0.5 mm undertapping한 것과 1mm undertapping한 것을 비교했을 때 1 mm 그룹에서 47%의 pullout strength의 증

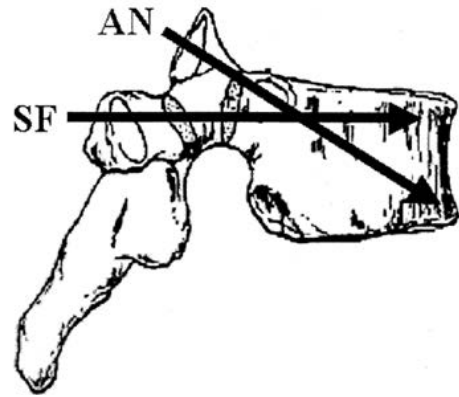


Fig. 2. The straight-forward (SF) technique results in a 39% increase in maximum insertional torque and a 27% increase in pullout strength compared to the anatomic technique (AN).

가가 있었다고 보고하여 tapping을 작은 직경으로 하는 것이 고정력을 증가시킬 수 있는 방법임을 증명하였다.⁵ 삽입 각도의 경우는 약 30도 정도의 수렴(convergence)이 pullout 강도를 28%정도 증가시키는 것으로 알려져 있다. 삽입방향에 대해서는 Lehman 등의 연구에 의하면 흉추 척추경 나사못 삽입시 수평의 똑바른 방향(Straight forward)과 해부학적 궤도(Anatomic trajectory)에 따른 술기를 비교하였을 때 수평의 똑바른 방향으로 삽입하는 술기가 27%정도 최대 삽입 토크가 큰 것으로 보고하였다(Fig. 2).⁶

Bicortical fixation을 시행하는 것도 고정력을 높일 수 있는 중요한 방법이 될 수 있으나 척추의 경우는 모든 경우에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 사료된다.

척추경 나사못 자체의 디자인과 모양

골다공증성 척추에 충분한 고정력을 얻기 위해서는 척추경 나사못 자체의 디자인과 모양이 중요한 요인이 될 수 있다. 가장 쉽게 발견할 수 있는 내용은 일반적인 정형외과적 고정 술기의 원칙과 마찬가지로 길고 굵은 직경의 나사못을 사용하는 것이 고정력을 높일 수 있으며 원뿔 모양(Conical)이 원통(Cylindrical) 모양보다 고정력이 좋으며 확장형(expandable) 나사못 또한 장점이 있다. 특히 Cook 등은 나사못의 끝 tip을 2 mm 정도 확장했을 때 약

50% 정도의 pull out 강도를 높일 수 있는 것으로 보고하였다.⁷ 더 나아가 확장형 척추경 나사못과 골 시멘트를 병용 사용함으로써 심한 골다공증성 척추에서 확장형 나사못만을 사용한 것보다 250%의 pull-out 강도 증가를 생역학적 실험을 통해 보고하였다.⁸

최근에는 척추부위의 피질골쪽으로만 관통 삽입하는 cortical bone screw가 개발, 사용되어지고 있는데, 골다공증성 척추에서도 사용할 수 있는 한 방법이다.⁹

척추경 나사못을 보강 증대(augmentation)하는 방법

척추경 나사못 삽입 술기와 나사못 자체의 디자인과 모양과 함께 나사못을 보강하여 고정력을 증대, 확대시키는 augmentation 방법 또한 중요하다. 보강 방법으로는 가장 흔하게 사용되어지는 척추체에 골 시멘트를 삽입하여 수술하는 방법이 있으며 직접적인 자가골 혹은 동종골 이식, 추가적인 금속 고정으로 laminar hook 혹은 sublaminar wire 등을 보강하는 방법 등이 사용되어져왔다.

먼저 골 시멘트를 척추체에 삽입 보강하는 방법은 150% 또는 200%까지 pullout 강도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 최근에는 시멘트 삽입이 편리한 척추경 나사못 디자인이 개발되어 사용되어지고 있는데, 대표적인 것이 천공형(fenestrated) 혹은 확장형(expandable) 나사못이다. 최근의 연구로 Choma 등은 생역학적 실험을 통해 골 시멘트가 골다공증성 척추에서 척추경 나사못 고정력을 현저히 증가시키는 것으로 확인하고 천공형 나사못이 누출의 위험 없이 척추체 내에 시멘트를 잘 위치시킬 수 있으며, 높은 점도의 시멘트 삽입이 고정력에 좀 더 유리한 것으로 보고하였다.¹⁰

시멘트 삽입 방법에 따른 고정력은 풍선 척추 성형술 형태의 시멘트 보강이 다른 방법에 비해 pullout load가 큰 것으로 보고된바 있다.¹¹

또한 시멘트가 연성(soft)일 때 혹은 경화(cured)되었을 때 척추경 나사못 삽입을 한 그룹을 비교한 실험에서 시멘트가 연성일 때 척추경 나사못을 삽입한 것이 pullout 강도가 더 높은 것으로 확인되었

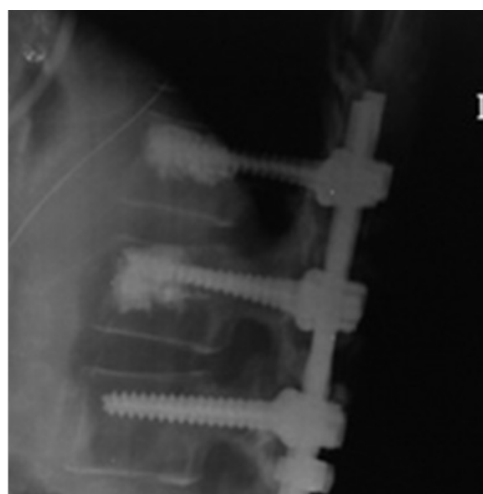


Fig. 3. The most common method for vertebral body augmentation is adding with bone cement.

다(Fig. 3).¹²

그러나 시멘트 보강 방법은 장기적으로 골 시멘트가 생체적합성(biocompatibility)이 부족하다는 단점 뿐 아니라 중합(polymerization)시에 높은 열 발생으로 인해 주변 조직에 손상을 주며 짧은 handling time 등의 여러 문제가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 기존의 골 시멘트와 비슷한 강도를 가지면서도 보다 생체적합한 대체재를 이용한 방법으로 새로운 시멘트나 동종골 plug interference fixation 등을 사용한 술기가 대두되고 있다. Zhu 등은 Novel Bioactive cement를 이용한 생역학적 연구에서 기존의 PMMA 시멘트와 유사한 고정력을 얻었다고 보고하였다.¹³ 향후 척추체를 보강하는 방법은 좀 더 생물학적 고정(biologic fixation)을 얻을 수 있는 방향으로 개선될 것으로 예상된다.

다발성 고정(Multiple fixation points)에 의해 척추경 나사못 고정력을 높이는 방법

Multiple fixation points에 의해 augmentation방법으로 추가적 laminar hook이나 sublaminar wire 등을 사용하여 척추경 나사못의 고정력을 증가시킬 수 있겠으며, 금속이 아닌 polyethylene tape와 같은 flexible material을 사용하여서도 척추경 나사못의 고정력을 높일 수 있다는 보고들도 있다.¹⁴



Fig. 4. Sixty nine years old female patients who had pedicle screw fixation failure had a reconstructive surgery with anterior support and pedicle subtraction osteotomy. Also she had additional multiple point fixations with pedicle screw and bone cement augmentation.

수술후의 치료로는 골유합과 변형교정을 유지할 수 있도록 일정기간동안의 보조기(Brace) 치료가 필요할 수 있으며, 골유합을 촉진시킬 수 있는 약물치료 또한 중요한 요소가 된다. 최근에 골다공증 치료제로 사용되고 있는 부갑상선 호르몬 제제는 일부 연구에서 수술후 사용되었을 때 골유합과 고정한 나사못의 이완(loosening)을 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.¹⁵

그러나 이런 다양한 방법으로도 근본적인 bone - screw interface 혹은 bone - cement interface의 문제를 획기적으로 개선할 수 없으므로 보다 새로운 연구와 함께 앞의 다양한 요인들을 잘 사용한 술기가 필요하리라 하겠다. 현재로서는 앞서 논의된 다양한 방법들을 개별환자의 특성과 수술시 상황에 맞게 최대한 적절히 조합하여 수술함으로써 골다공증성 척추의 수술 성공률을 극대화시키는 전략이 필요할 것이다 (Fig. 4).

참 고 문 헌

1. McLain RF, McKinley TO, Yerby SA, Smith TS, Sarigul-Klijn N. The effect of bone quality on pedicle screw loading in axial instability. A synthetic model. *Spine (Phila Pa 1976)* 1997;Jul 1;22(13):1454-60.
2. Kim JH, Yoo SH, Kim JH. Long-term Follow-up of Percutaneous Vertebroplasty in Osteoporotic Compression Fracture: Minimum of 5 Years Follow-up. *Asian Spine J* 2012;6:6-14.
3. Suk SI, Lee CK, Kim WJ, Chung YJ, Park YB. Segmental pedicle screw fixation in the treatment of thoracic idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995 Jun 15;20(12):1399-405.
4. Stauff MP, Freedman BA, Kim JH, Hamasaki T, Yoon ST, Hutton WC. The effect of pedicle screw redirection after lateral wall breach--a biomechanical study using human lumbar vertebrae. *Spine J* 2014 Jan;14(1):98-103.
5. Kuklo TR, Lehman RA Jr. Effect of various tapping diameters on insertion of thoracic pedicle screws: a biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 Sep 15;28(18):2066-71.
6. Lehman RA Jr, Polly DW Jr, Kuklo TR, Cunningham B, Kirk KL, Belmont PJ Jr. Straight-forward versus anatomic trajectory technique of thoracic pedicle screw fixation: a biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003 Sep 15;28(18):2058-65.
7. Cook SD, Salkeld SL, Whitecloud TS 3rd, Barbera J. Biomechanical evaluation and preliminary clinical experience with an expansive pedicle screw design. *J Spinal Disord* 2000 Jun;13(3):230-6.
8. Cook SD, Salkeld SL, Stanley T, Faciane A, Miller SD. Biomechanical study of pedicle screw fixation in severely osteoporotic bone. *Spine J* 2004 Jul-Aug;4(4):402-8.
9. Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, Rodriguez-Canessa G, Lyons AS, Henson MA,

- Womack WJ, Puttlitz CM. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws. *Spine J* 2009 May;9(5): 366-73.
10. Choma TJ, Pfeiffer FM, Swope RW, Hirner JP. Pedicle screw design and cement augmentation in osteoporotic vertebrae: effects of fenestrations and cement viscosity on fixation and extraction. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 Dec 15;37(26):E1628-32.
11. Burval DJ, McLain RF, Milks R, Inceoglu S. Primary pedicle screw augmentation in osteoporotic lumbar vertebrae: biomechanical analysis of pedicle fixation strength. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007 May 1;32(10):1077-83.
12. Linhardt O, Lüring C, Matussek J, Hamberger C, Plitz W, Grifka J. Stability of pedicle screws after kyphoplasty augmentation: an experimental study to compare transpedicular screw fixation in soft and cured kyphoplasty cement. *J Spinal Disord Tech* 2006 pr;19(2):87-91.
13. Zhu Q, Kingwell S, Li Z, Pan H, Lu WW, Oxland TR. Enhancing pedicle screw fixation in the aging spine with a novel bioactive bone cement: an in vitro biomechanical study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2012 Aug 1;37(17):E1030-7.
14. Hamasaki T, Tanaka N, Kim J, Okada M, Ochi M, Hutton WC. Pedicle screw augmentation with polyethylene tape: a biomechanical study in the osteoporotic thoracolumbar spine. *J Spinal Disord Tech* 2010 Apr;23(2):127-32.
15. Ohtori S, Inoue G, Orita S, Yamauchi K, Eguchi Y, Ochiai N, et al. Comparison of Teriparatide and Bisphosphonate Treatment to Reduce Pedicle Screw Loosening After Lumbar Spinal Fusion Surgery in Postmenopausal Women With Osteoporosis from a Bone Quality Perspective. *Spine (Phila Pa 1976)* 2013 Apr 15;38(8):E487-92.