

다분절 요추 후방 기기술에서 척추경 나사못의 관상면상 정렬을 위한 삽입 방법 - 술기 보고 -

강석중[#] · 황창주 · 이성우 · 안영준^{*} · 김영태 · 이동호 · 이춘성

울산대학교 의과대학 서울아산병원 정형외과학교실
인제대학교 의과대학 부산백병원 정형외과학교실[#], 국립경찰병원 정형외과^{*}

A Novel Concept for the Best Coronal Alignment of Pedicule Screws in Multilevel Lumbar Posterior Instrumentation - A Technical Note -

Suk Jung Kang, M.D.[#], Changju Hwang, M.D., Sung-Woo Lee, M.D., Young-Joon Ahn, M.D.^{*},
Yung-Tae Kim, M.D., Dong-Ho Lee, M.D., Choon Sung Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Asan Medical Center College of Medicine, University of Ulsan, Seoul, Korea

Department of Orthopaedic Surgery, Pusan Paik Hospital College of Medicine, Inje University, Pusan, Korea[#]

Department of Orthopaedic Surgery, National Police Hospital^{}*

- Abstract -

Correct alignment of pedicle screws is imperative in multilevel instrumentation. However, there has been no report addressing the technical aspects of this subject. If the head diameter of a pedicle screw is D, the head height is H, and the convergence angle of the screw being inserted is α , then the distance between the extension line of the medial borders of the inserted screw heads and the insertion point of the adjacent screw (A) is described by the following formula:

$$A = \frac{1}{2}D\cos\alpha - H\sin\alpha$$

If an L3 pedicle screw (D=13 mm, H=15 mm) is to be inserted with a convergence angle of 14 degrees after the insertion of L4 and L5 screws, its insertion point should be 3.6 mm medial to the extension line of the centers of the L4 and L5 screws and 2.7 mm lateral to the extension line of their medial borders for all screw heads, so it can be aligned in the coronal plane. In order to achieve the best alignment, a pedicle screw is inserted between the extended line of the centers and that of the medial borders of the inserted adjacent screw heads. For the routine range of convergence angles, it is essential to move the entry point medially toward the extended line connecting the medial borders of the inserted adjacent screw heads.

Key Words: Pedicle screw, Coronal alignment, Entry point, Multilevel posterior lumbar instrumentation

Address reprint requests to

Choon-Sung Lee, M.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Asan Medical Center, College of Medicine, University of Ulsan,
388-1, Pungnap-dong, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea

TEL: 82-2-3010-3530 FAX: 82-2-488-7877, E-mail: cslee@amc.seoul.kr

요추의 다분절 기기술 시 삽입된 척추경 나사못의 부정 정렬(malalignment)로 인하여 발생하는 문제점들은 척추 외과의라면 누구나 경험하는 일이다. 이럴 경우 급속 강봉의 삽입이 어려워져 정상 시상 만곡을 유지하기 힘들고, 무리하게 나사못 머리에 결합을 한다고 하더라도 기기 및 척추경에 비정상적인 부하가 가해짐으로써 파손 및 골절의 위험성이 커지게 된다(Fig. 1). 따라서 나사못의 삽입점(entry point)을 결정할 때에는 최상의 정렬을 얻기 위하여 항상 척추경의 해부학적 위치뿐만 아니라

인접 분절에 이미 삽입되어 있는 나사못의 위치도 고려해야 하는데, 주지의 사실임에도 불구하고 이에 대한 구체적인 개념은 아직까지 기술된 바가 없다.

새로운 술기의 보고

척추경 나사못이 정렬을 이루기 위해서는 모든 나사못의 머리(screw head)가 관상면에서 일직선 상에 위치해야 한다. 하지만 단순히 해부학적 지표(anatomical landmark)만을 참조하거나 인접 나사못 머리의 중심을 따라 삽입해 나가면, 나사못의 배열이 불규칙해지거나 관상면상 정렬이 수렴 또는 산개(converge or diverge)하는 문제점이 생기게 된다. 그림 2와 3에서 이러한 오류를 잘 확인할 수가 있는데, 최초 2개의 척추경 나사못을 일렬로 삽입한 후 두 나사못 머리의 중심을 지나는 연장선 상에 상부 척추경 나사못의 삽입점을 잡게 되면 수렴각에 의해 나사못의 머리가 보다 외측으로 위치하게 된다(Fig. 2B, 3A). 그러나 하부 척추경 나사못 머리의 내측 경계를 지나는 연장선 상에 상부 척추경 나사못을 삽입하게 되면 나사못이 잘 정렬되는 것을 알 수 있다(Fig. 2C, 3B).

저자들은 이러한 개념을 기본으로 하여 척추경 나사못을 도식화함으로써 나사못 머리의 직경, 높이, 수렴각에 따른 삽입점의 위치를 수식으로 산출하였다.

척추경 나사못의 머리 직경(head diameter)을 D, 머리

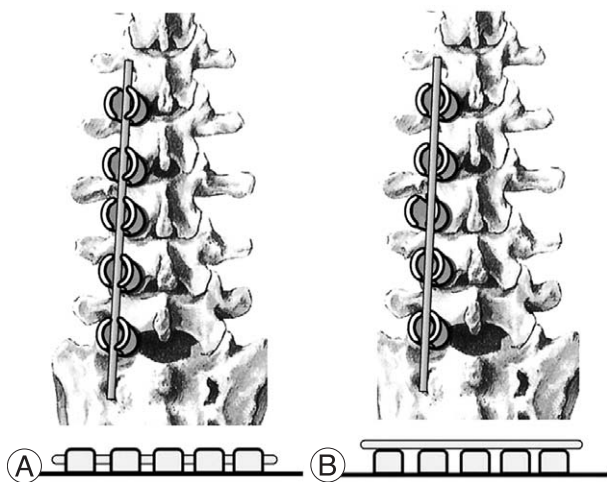


Fig. 1. If screw heads are not correctly aligned, rod insertion could be difficult (bottom, B). (A) The best alignment, (B) An inappropriate alignment.

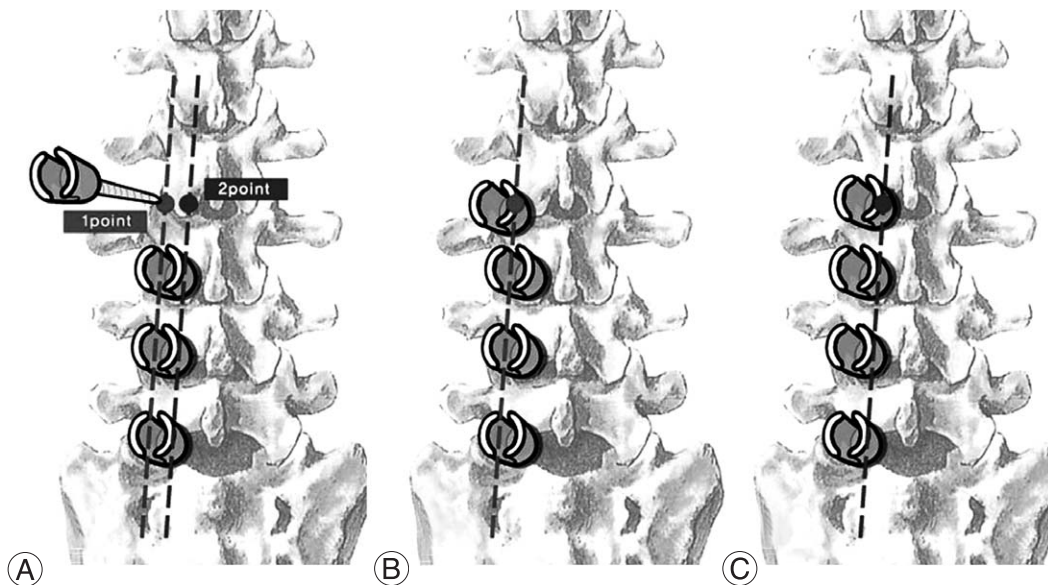


Fig. 2. (A) The first point is located in the extended line connecting the centers of adjacent screw heads (red), and the second point is in the extended line connecting their medial borders (blue). (B) The screw being inserted was lateralized. (C) The best coronal alignment was obtained.

높이(head height)를 H , 수렴각(convergence angle)을 α , 기삽입된 나사못 머리의 내측 경계를 연장한 선에서 다음 삽입점까지의 수평 거리를 A , 나사못 머리의 중심을 연장한 선에서 다음 삽입점까지의 거리를 B 라고 할 때 $B = H \sin \alpha$, $A+B = \frac{1}{2} D \cos \alpha$ 이므로 도식화된 그림을 통해 산출되어지는 식은 다음과 같다(Fig. 4).

$$A = \frac{1}{2} D \cos \alpha - H \sin \alpha$$

A 의 경우 만약 음수 값이 나오게 되면 이는 삽입점이 기삽입된 척추경 나사못 머리의 내측 경계보다 내측에,

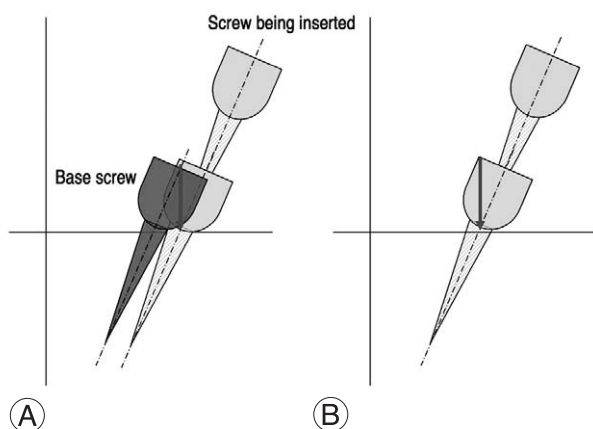


Fig. 3. Relationship between the base (adjacent) screw and the screw that will be inserted. (A) If a pedicle screw is directed in line with the center of the base screw head, it will be lateralized in coronal plane. (B) The entry point must be located in line with the medial border of the base screw head to get the best alignment of screw heads in coronal plane. These schemas demonstrate the same situations as B and C in figure 2, respectively.

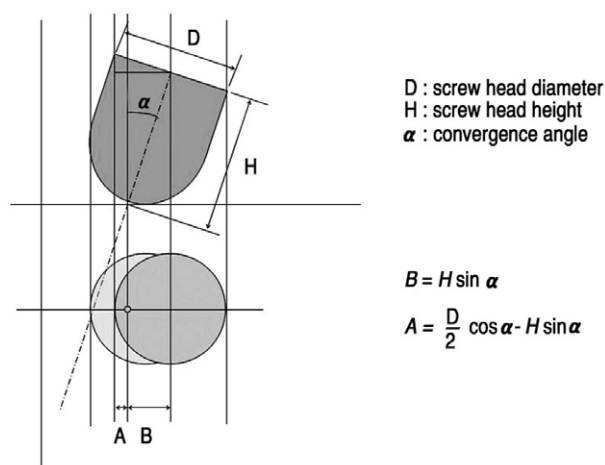


Fig. 4. The suggested numerical formula describes the distances between the entry point and the medial border (A) and the center (B) of a screw head, respectively.

양수 값이 나오게 되면 외측에 위치하는 것을 나타내게 되고, B 값은 나사못을 산개(diverge)하여 삽입하지 않는 이상 항상 양수로 표현된다. D 가 13 mm, H 가 15 mm인 척추경 나사못을 제4, 5 요추의 척추경에 일렬로 삽입한 상태에서 제3 요추 나사못을 평균 수렴각 14도¹⁾로 삽입한다고 가정하면, 제안된 수식에 의하여 $A = +2.7$ mm, $B = +3.6$ mm이고, 이는 제3 요추 나사못을 제4, 5 요추 나사못 머리의 내측 경계를 지나는 연장선 상에서 2.7 mm 외측에, 중심을 지나는 연장선 상에서 3.6 mm 내측에 삽입하여야 세 나사못이 정렬을 이루게 됨을 의미한다. 같은 방법으로 평균 수렴각 12도, 11도를 각각 적용하면, 제2 요추, 제1 요추에는 하부 척추경 나사못 머리의 내측 경계를 연결한 선보다 3.2 mm, 3.5 mm 외측에, 중심을 연결한 선보다 3.1 mm, 2.9 mm 내측에 각각 삽입점을 잡아야 하는 것을 알 수 있는데, 이처럼 요추의 다분절 기기술 시에는 대부분 기삽입된 척추경 나사못 머리의 중심을 연결한 선과 내측 경계를 연결한 선 사이에 인접 나사못의 삽입점이 위치해야만 관상면에서 상하부의 나사못 머리가 일직선 상에 정렬하게 된다. 이는 두 개의 나사못을 정렬시킬 때에도 마찬가지로서, 제5 요추 나사못을 삽입한 후 제4 요추에 평균 수렴각 18도로 나사못을 삽입할 때, 제5 요추 나사못 머리의 내측 경계로부터 올린 수직선보다 외측 1.5 mm에, 중심으로부터 올린 수직선보다 내측 4.6 mm에 삽입하면 두 나사못 머리가 최상의 정렬을 이루게 되어 이를 바탕으로 상부에 다분절 기기술을 연장할 수 있게 된다(Table 1).

수식에서 알 수 있듯이 α 와 H 값이 증가할수록 A 는 감소하므로 이상적인 삽입점은 내측 경계의 연장선 상으로 이동한다. 즉, 사용 빈도가 높은 하 요추부의 척추경 나사못은 수렴각을 많이 주어 삽입하여야 하기 때문에 인접 나사못 머리의 내측 경계를 연결한 연장선 상에 삽입하여야 한다는 개념을 가지고 기기술에 임하여야 하며, 이는 정복 나사와 같이 머리가 높은 나사못을 사용

Table 1. The distance between the entry point and the medial border of a screw head (A), the distance between the entry point and the center of a screw head (B), and average convergence angle (C)¹⁾ according to the level of each lumbar vertebra. The diameter and height of a screw head are 13 mm and 15 mm, respectively.

| | A(mm) | B(mm) | C(degrees) |
|----|-------|-------|------------|
| L1 | +3.5 | 2.9 | 10.9 |
| L2 | +3.2 | 3.1 | 12.0 |
| L3 | +2.7 | 3.6 | 14.4 |
| L4 | +1.5 | 4.6 | 17.7 |
| L5 | -1.9 | 7.5 | 29.8 |

할 시에 더욱 그러하다. 물론 상기 수식은 저자들의 개념을 입증하기 위해 만들어진 것이기 때문에 실제 기기술 시 정확한 수치를 계산할 필요는 없다.

고 찰

척추경 나사못은 척추경의 중심에 위치하는 것이 생역학적으로 가장 이상적이며, 그렇게 함으로써 잘못된 삽입 위치에 의한 각종 합병증을 예방할 수 있다. 척추경 나사못은 후방 접근 시 관찰되는 골성 구조물의 해부학을 참조하거나 수술 중 얻어지는 방사선 영상으로 그 위치를 추정하여 삽입하게 되는데²⁾, 다양한 삽입 위치와 방향이 기술되어 왔고^{3,4,5,6)} 사체 및 영상 연구도 요추 척추경은 변형이 있는 특수한 경우를 제외하고는 통상적으로 삽입되는 나사못에 비해 큰 것으로 보고하고 있기 때문에^{7,8,9)}, 삽입점이나 방향에 있어 어느 정도의 변이가 허용될 수 있다. 척추경 나사못을 척추경의 중심에 정확히 삽입하는 것 못지 않게 다분절 기기술 시 올바른 정렬을 맞추는 것도 요추 전만을 회복시키고 기기 및 척추경에 비정상적인 부하가 가해지지 않도록 하기 위해 매우 중요하다. 따라서 나사못이 척추경의 범위를 벗어나지만 않는다면, 나사못의 정렬을 고려하여 삽입점을 이동시켜야 한다는 개념을 가지고 기기술을 시행하여야 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

만약 나사못 삽입 시 수렴각을 줄 필요가 없다면 이와 같은 개념이 없어도 정렬을 얻는데 큰 문제가 없다. 하지만 요추 척추경의 구조상, 그리고 생역학적 안정성을 위해서는 반드시 나사못을 수렴하여 삽입하여야 한다. 그런데 실제 기기술을 시행할 때에는 이미 삽입되어 기울어져 있는 나사못의 머리를 보면서 그 중심과 평행하게 인접 나사못을 삽입하려는 경향이 생기기 때문에 바

른 정렬을 얻지 못하고 인접 나사못에 비해 외측으로 치우치게 되는 경우가 많다(Fig. 2, 3).

제안된 모식도에 의하면 통상의 수렴각에서는 나사못의 삽입점이 인접 나사못의 내측 경계를 연결한 선 부근에 위치함으로써 최상의 정렬을 얻을 수 있다는 것을 잘 알 수 있지만, 삽입하는 나사못의 크기가 제조사마다 다르고 요추 척추경의 수렴각이 환자마다, 분절마다 다르기 때문에 수식을 이용한 약간의 개념 조정이 필요하다. 특히 나사못 머리의 높이(H)가 큰 경우에는 수식에서의 B값(나사못 머리의 중심에서 삽입점까지의 거리)이 증가하기 때문에 인접 나사못 머리의 중심을 따라가다 보면 삽입점이 외측에 위치하게 될 경향이 더욱 커진다. 또한 모든 나사못을 같은 수렴각으로 삽입한다면 인접 나사못의 실제 삽입점과 같은 수직선 상에 동일하게 삽입점을 잡으면 간단하겠지만, 실제로는 분절마다 수렴각이 변화하면서 이에 따라 나사못 머리가 이루는 배열이 불규칙해진다. 따라서 인접 척추경 나사못 머리 내측 경계의 연장선 상에 삽입점을 잡더라도 수렴각을 적게 주는 경우에는 나사못 머리가 내측으로 치우치게 되므로 이 때에는 보다 외측으로 삽입하여야 최상의 정렬이 가능하며(Fig. 5A, B) 수렴각이 큰 경우에는 보다 내측에 상부 척추경 나사못의 삽입점을 위치하도록 하는 것이 좋을 것이다(Fig. 5C, D). 하지만 가장 중요한 점은, 척추경 나사못을 산개하여 삽입하거나 수렴각이 지나치게 크지 않은 이상, 언제나 기삽입된 나사못 머리의 중심을 연결한 선보다는 내측에, 내측 경계를 연결한 선보다는 외측에 삽입점을 잡아야만 나사못 머리가 일렬로 정렬될 수 있으며, 하 요추부에서 통상적인 수렴각으로 삽입되는 나사못의 삽입점은 인접 나사못 머리의 내측 경계를 연결한 선에 가깝게 위치한다는 것이다(Table 1).

저자들은 요추 후방 기기술 시에 주로 하부에서 상부로 나사못을 삽입하여 올라가는데, 척추경간 거리는 하

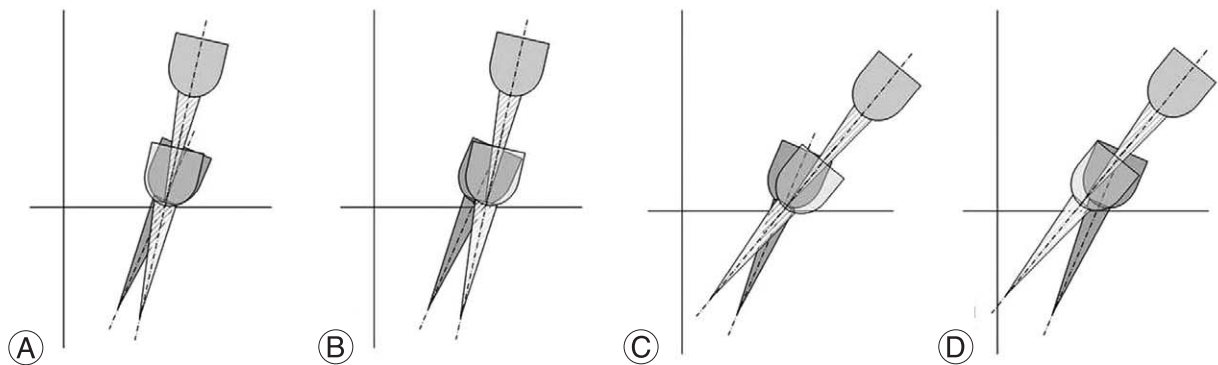


Fig. 5. Adjustment of entry point according to convergence angle. The entry point should be slightly lateralized in case that the convergence angle is smaller than that of a base (adjacent) screw to align the screw heads (A, B). If the convergence angle of a screw being inserted is larger than that of a base (adjacent) screw, its entry point must be slightly medialized (C, D).

부에서 상부로 올라갈수록 줄어드는 경향이 있기 때문에 상위 나사못의 삽입점이 외측으로 이동하는 것을 방지하기 위하여 이러한 방법이 특히 더욱 유용하다. 하지만 유합 범위의 상부에서부터 나사못을 삽입하여 내려온다고 하더라도, 해부학적 연구 결과에 의하면 요추에서는 제5 요추를 제외하고는 척추경간 거리가 분절간에 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않고^{7,8,9)}, 하부 요추로 갈수록 삽입점과 나사못 머리의 중심 간 거리(B)가 늘어나는 척추경간 거리에 비해 큰 격차를 보이기 때문에, 나사못 정렬에 대한 오류의 가능성 - 나사못 머리가 점차 외측으로 치우칠 가능성 - 을 피할 수는 없을 것이다(Table 1). 그러나 환자 개개인에 따른 차이가 있을 수 있으므로 임상적 적용 시에는 수술 전 또는 수술 중 방사선 사진을 확인하여 삽입점을 조정할 필요가 있다.

임상적으로 척추경 나사못의 정렬에 가장 문제가 되는 것은 심한 퇴행성 변화나 골절 후유증, 측만증 등으로 인한 척추경의 변형 또는 추체의 측방 전위 및 회전 변형이 동반되어 술전 방사선 사진에서 이미 척추경의 배열이 불규칙한 경우인데, 이 때 삽입점을 내측 또는 외측으로 이동하여야 할 수도 있다. 예를 들어 제5 요추의 척추경에 나사못을 삽입한 후 제4 요추에서 하부 나사못 머리 내측 경계로부터 1.5 mm 외측(Table 1)에 나사못을 삽입하지 못하고 어떤 원인에 의해 외측으로 2 mm 정도 더 삽입점을 옮겨야 하는 상황이라면, 나사못 머리의 정렬을 맞추기 위해서는 수직에 의해 수렴각을 18도가 아닌 12도 정도로 삽입하여야 한다. 즉, 척추경의 수렴각보다 줄여서 삽입하여야 하며 반대로 내측으로 삽입점을 옮겨야 한다면 수렴각을 더 크게 하여야 하는데, 이처럼 이상적인 배열을 보이지 못하는 경우를 극복하는 방법으로 수렴각을 조절하는 것이 좋은 대안이 될 수 있다. 하지만 이는 척추경의 크기가 나사못의 삽입 위치 및 방향의 변이를 허용할 수 있을 때만 가능할 것이다. 또 다른 대안으로 다축 나사못(multiaxial screw)의 사용을 고려할 수 있지만, 전체 기기의 강도에 미치는 영향, 고정력, 임상적 결과 등에 관해서는 아직 논란이 있다^{10,11,12)}.

저자들은 척추경 나사못 삽입 시 기본적으로 척추경의 해부학적 위치를 고려하여 유도 핀(guide pin)을 삽입한 후 후전 및 측면 방사선 사진을 촬영하여 삽입점의 위치를 결정하는 방법(intraoperative biplanar radiograph method)을 사용하는데³⁾, 이것만으로는 항상 관상면상 나사못 부정 정렬의 문제점을 피할 수가 없었다. 따라서 상기 기술한 바와 같은 새로운 방법을 고안하게 되었으며, 이를 병용하면 최상의 나사못 정렬을 얻는 데 많은 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

이처럼 다분절 요추 후방 기기 기술 시 척추경 나사못의

관상면상 정렬을 얻기 위해서는 방사선사진상 척추경의 위치뿐 아니라 인접 나사못의 위치도 고려하여 삽입점을 결정하여야 한다. 이상적인 삽입점은 수렴각과 나사못 머리의 크기에 따라 달라지지만, 일반적으로는 수술 중 관찰되는 인접 나사못들의 머리의 중심을 연결한 가상선 상이 아니라 내측 경계를 연결한 가상선 상에 위치한다. 수렴각이 수직에 가까울수록 삽입점이 인접 나사못 머리의 중심의 연장선 상에 가까우나 통상의 수렴각에서는 내측 경계를 연결한 연장선 상과 더 가깝다.

참고 문헌

- 1) Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, et al: Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. *Spine* 1987; 12: 160-166.
- 2) Suk SI, Kim WJ, Lee SM, Kim JH, Chung ER: Thoracic pedicle screw fixation in spinal deformities. *Spine* 2001; 26: 2049-2057.
- 3) Park HJ, Rha JH, Lee DH: Entry point of pedicle screw in the lumbar spine. *J Korean Soc Spine Surg* 1999; 6: 349-354.
- 4) Krag MH: Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation. *Spine* 1991; 16: 84-99.
- 5) Magerl FP: Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop* 1984; 189: 125-141.
- 6) Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C: Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop* 1986; 203: 7-17.
- 7) Ebraheim NA, Xu R, Darwich M, Yeasting RA: Anatomic relation between the lumbar pedicle and the adjacent neural structures. *Spine* 1997; 22: 2338-2341.
- 8) Attar A, Ugur HC, Uz A, Tekdemir I, Egemen N, Genc Y: Lumbar pedicle: surgical anatomic evaluation and relationships. *Eur spine J* 2001; 10: 10-15.
- 9) Soyuncu Y, Yildirim FB, Sekban H, Ozdemir H, Akyildiz F, Sindel M: Anatomic evaluation and relationship between the lumbar pedicle and adjacent neural structures. *J Spinal Disord Tech* 2005; 18: 243-246.
- 10) Stanford RE, Loeffler AH, Stanford PM, Walsh WR: Multiaxial pedicle screw designs: Static and dynamic mechanical testing. *Spine* 2004; 29: 367-375.
- 11) Shepard MF, Davies MR, Abayan A, Kabo JM, Wang JC: Effects of polyaxial pedicle screws on lumbar construct rigidity. *J Spinal Disord Tech* 2002; 15: 233-236.

- 12) Kuklo TR, Potter BK, Polly DW, Lenke LG: *Monaxial of adolescent idiopathic scoliosis. Spine 2005; 30: 2113-2120.*
versus multiaxial thoracic pedicle screws in the correction

국문초록

다분절 요추 후방 기기기술 시 척추경 나사못 머리를 관상면에서 일렬로 정렬하기 위한 삽입점의 위치를 분석하기 위해 나사못을 도식화하여 나사못 머리의 직경, 높이, 수렴각에 따른 삽입점의 위치를 수식으로 산출하였다. 척추경 나사못 머리의 직경을 D , 높이를 H , 수렴각을 α 라고 할 때, 기삽입된 나사못 머리의 중심을 연장한 선에서 다음 삽입점까지의 거리는 $H\sin\alpha$ 이고, 나사못 머리의 내측 경계를 연장한 선에서 다음 삽입점까지의 거리(A)는 다음의 수식으로 기술할 수 있다.

$$A = \frac{1}{2}D\cos\alpha - H\sin\alpha$$

머리의 직경이 13 mm, 높이가 15 mm인 나사못을 제4, 5 요추에 일렬로 삽입한 상태에서 제3 요추 나사못을 평균 수렴각 14도로 삽입하는 경우를 가정하면, 제4, 5 요추 나사못 머리의 중심을 연결한 선보다 3.6 mm 내측, 나사못 머리의 내측 경계를 연결한 선보다 2.7 mm 외측에 삽입점을 잡아야 나사못 머리의 관상면상 정렬을 얻을 수 있다.

다분절 요추 후방 기기기술 시 척추경 나사못 머리의 관상면상 정렬을 얻기 위해서는 방사선사진상 척추경의 위치뿐 아니라 인접 나사못의 위치도 고려하여 삽입점을 결정해야 한다. 삽입점은 수렴각에 따라 달라지는데, 일반적으로는 수술 중 관찰되는 인접 나사못들의 머리의 중심을 연결한 가상선 상이 아니라 내측 경계를 연결한 가상선 상에 가깝게 있다. 수렴각이 수직에 가까울수록 삽입점이 인접 나사못 머리의 중심의 연장선 상에 가까우나 통상의 수렴각에서는 내측 경계를 연결한 연장선상과 더 가깝다.

색인단어: 척추경 나사못, 관상면상 정렬, 삽입점, 다분절 요추 후방 기기기술,

※ 통신저자 : 이 춘 성
 서울특별시 송파구 풍납동 388-1 울산대학교 의과대학
 서울아산병원 정형외과학교실
 TEL: 82-2-3010-3530 FAX: 82-2-488-7877 E-mail: cslee@amc.seoul.kr