

척추고정을 위한 척추경의 형태학적 연구

연세대학교 원주의과대학 정형외과학교실

박희전 · 나중호 · 황성관

— Abstract —

Morphometric Study of the Pedicle of Lumbar and Selected Thoracic Vertebrae for Surgical Spinal Fixation

Heui Jeon Park, M.D., Jung Ho Rah, M.D. and Sung Kwan Hwang, M.D.

*Department of Orthopaedic Surgery, Yonsei University, Wonju College of Medicine,
Wonju, Korea*

The pedicle instrumentation has become a popular way of spinal fixation. Placement of a screw through the pedicle into vertebral body appears to be a very successful way to accomplish spinal fixation. However, the configuration of the pedicle morphometry must be understood.

The measurement includes pedicle width, angle of pedicle axis to the transverse plane, ideal screw length, ideal screw entry point and ideal angle. This study was accomplished using computerized axial tomogram(CT) of 704 vertebrae(T₁₀-L₅).

The results were as follows.

1. Transverse pedicle diameter were narrowest at T₁₀, widest at L₅.
2. The pedicle axis is oriented anteromedially at all levels except T₁₁ and T₁₂, then increase from L₁ to L₅.
3. Screw lengths are fairly constant between all levels, thus the range of screw lengths need is limited.
4. The incidence of pedicle less than 6 mm in the transverse diameter is most common at T₁₀ and followed by levels L₁, T₁₂ and L₂.
5. Pre-operative determination of transpedicular screw diameter and length can be made, by direct measurement from the patient's CT scan.

Key Words : Pedicles, Morphometry, CT scanning

서 론

척추의 각종 질환에서 분절고정을 위해 척추경 나사못을 이용한 척추고정기기의 사용이 일반화되고 있다^{2,8,11,17,18)}.

척추측만증의 치료를 위해 고안된 Harrington 신연기기를 사용하였을 때는 하나의 분절 고정을 위해 5-6개의 분절을 고정해야 하는 단점이 있다. hook을 이용한 Harrington 신연기기는 hook의 이탈을 방지하기 위해 연부조직의 tensile force를 이용하여 고정하기 위해서는 5-6개의 분절을 고정해야 하며 rod와 wiring을 병행하여 사용해야 하는 Luque system도 다분절의 고정을 필요로 한다^{11,13,22)}.

Roy-Camille 금속판의 사용으로 척추경 나사못을 이용한 척추고정술이 발달되기 시작하였으며 최근 다양한 종류의 척추경 나사못을 이용한 기기를 사용할 수 있게 되었다. 척추경 나사못을 이용한 척추고정은 각각의 척추체를 단단히 고정할 수 있을 뿐 아니라 단분절의 고정을 얻을 수 있다^{2,12,14,15,17,18,21)}.

그러나 현재 사용되고 있는 모든 척추경 나사못은 서양인의 척추형태를 기초로 개발되었기에 동양인에서 사용함에 있어 적절한지 여부에 대해서는 의문의 여지가 많다.

척추경의 형태에 대한 연구는 많은 사람들에 의해 보고된 바 있으며 국내에서도 1990년 김등¹⁾이 전조 상태의 척추를 측정하여 보고한바 있다.

본 연구의 목적은 한국인에서 척추경의 형태를 측정하여 향후 나사못 사용에 대한 지표로 삼고자 한다.

연구대상 및 방법

1) 연구대상

대상은 연세대학교 원주의과대학 원주기독병원에서 1990년 12월 부터 1992년 10월까지 전산화 단층 촬영을 시행한 환자중 골절, 종양, 감염 및 심한 퇴행성 변화가 있는 환자를 제외한 90명, 704개의 척추골의 전산화 단층 촬영상을 이용하였으며 남자 59명, 여자 31명이었고 연령은 18세에서 72세로 평

균 38.5세이었다.

측정 부위는 척추경 나사못이 주로 이용되고 있는 제10흉추에서 제5요추까지로 하였으며 전산화 단층 촬영은 Philips tomogram 350을 이용하였고 slice의 두께는 5mm이었다. 전산화단층 촬영상에서 척추경의 중간으로 생각되는 부위인 양측 척추경의 크기가 가장 크게 나타나고 양측이 대칭인 축성상(axial image)을 선정하였다.

전산화 단층 촬영상에서의 측정치와 실측치의 차이는 임상적으로 이용시 큰 차이를 보이지 않으므로^{3,11)} 길이의 측정은 0.01mm까지 측정이 가능한 digital caliper (Mitutoyo Co., Tokyo, Japan)를 이용하였고 각도 측정은 정확도가 0.5도인 각도기를 사용하였다.

2) 측정방법

척추경의 직경은 전산화 단층상에서 가장 좁은 부위를 척추경의 종축에 수직되게 측정하였다(Fig. 1-A). 척추경의 전후각(Qp)은 추경의 종축과 추체의 정중선이 이루는 각으로 하였으며 후외방에서 전내방으로 향할 때를 양의 값, 후내방에서 전외방으로 향할 때를 음의 값으로 표시하였다(Fig. 1-B).

이상적인 나사못의 삽입 방향은 술 전 전산화 단층 촬영상에서 척추경의 중앙을 지나면서 척추경 내에서 가장 긴 거리를 지나는 나사못 방향으로 하였으며 삽입각은 이상적인 나사못의 삽입방향과 정중선이 이루는 각(Qs)으로 측정하였다(Fig. 1-C).

이상적인 나사못의 삽입길이는 이상적인 나사못의 삽입방향에서 전방피질에서 후방피질까지의 길이로 하였으며, 이상적인 나사못의 삽입점 측정은 추체의 중심선으로부터 이상적인 나사못의 삽입방향과 후궁 피질이 만나는 점까지의 길이로 측정하였다(Fig. 1-D)

결 과

1. 척추경의 직경(Transverse pedicle diameter)

제11, 12흉추가 제1, 2요추보다 굵었으나 6.5-7.5mm 사이로 거의 비슷하였으며 제3요추에서부터 점점 증가하여 제5요추에서 13.0mm로 최대치를 나타냈다(Table 1, Fig. 2).

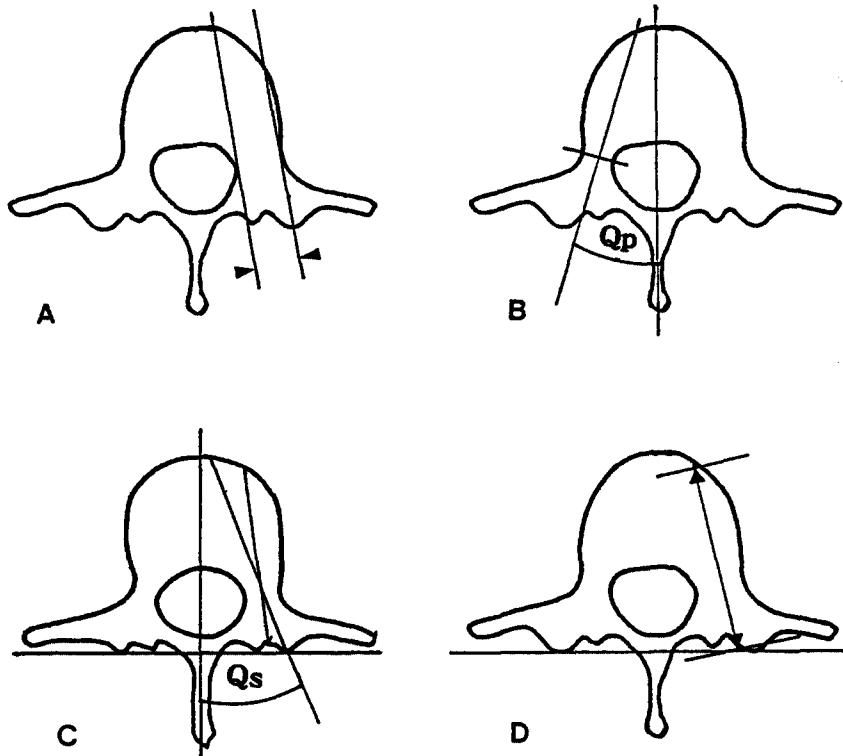


Fig. 1. A) Pedicle diameter is measured along a perpendicular line to the pedicle axis. B) Pedicle angle "Qp" is measured from the coronal plane(anteromedial positive). C) Screw angle "Qs". D) Screw length from anterior to posterior cortex.

2. 척추경의 전후각(Anteroposterior angle)

척추경이 후외측에서 전내방으로 향할 때는 양의 값으로 후내측에서 전외방을 향할 때를 음의 값으로 나타냈다. 제11, 12흉추골에서는 척추경이 외측을 향하였고 제11흉추에서 평균 -3.0도로 가장 외측을 향하였으며 제1요추부터 제4요추까지는 약 3도씩 증가하다가 제5요추에서 5도가 증가하여 21.5도를 보였다(Table 2, Fig. 3)

3. 나사못의 삽입각(screw angle)

제10, 11, 12흉추에서 약 10.5도로 거의 비슷하였으며 제1요추에서부터 점점 증가하여 제5요추에서 21.1도를 보였다(Table 3). 이를 척추경의 전후각과 비교해보면, 제10, 11, 12흉추에서는 약 10도, 제1, 2, 3요추에서는 6도가량 더 컸으며 제4, 5요추에는 척추경과 전후각과 나사못의 삽입각이 거의 비슷하였다(Table 4, Fig. 4).

Table 1. Transverse pedicle diameter (mm)

Level	No. of cases	Mean±S.D	Minimum	Maximum
T10	89	6.6±1.1	4.4	10.2
T11	89	7.4±1.2	5.2	11.2
T12	89	7.7±1.4	4.4	11.3
L1	90	7.0±1.2	4.4	10.6
L2	90	7.3±1.1	5.4	10.4
L3	89	8.7±1.5	5.8	13.1
L4	89	10.3±1.7	7.1	14.5
L5	83	13.0±2.0	8.7	18.9

Table 2. Anteroposterior pedicle angle(degree)

Level	No. of cases	Mean±S.D	Minimum	Maximum
T10	89	1.9±4.0	-9	16
T11	89	-3.0±4.3	-12	12
T12	89	-1.7±4.6	-8	14
L1	90	8.7±3.7	0	18
L2	90	10.9±4.0	4	20
L3	89	13.8±4.1	2	26
L4	89	16.5±3.6	10	30
L5	83	21.5±4.5	12	43

Table 3. Screw angle(degree)

Level	No. of cases	Mean±S.D	Minimum	Maximum
T10	89	10.9±2.5	4.0	17.0
T11	89	10.4±2.7	5.0	20.0
T12	89	10.5±2.6	0.0	15.0
L1	90	13.9±4.0	6.0	23.0
L2	90	15.4±4.7	8.0	26.0
L3	89	16.7±5.6	8.0	33.0
L4	89	17.7±6.0	8.0	34.0
L5	82	21.1±7.1	10.0	40.0

4. 이상적인 나사못의 삽입점(Ideal point of screw entrance)

이상적인 나사못의 삽입점은 제10흉추에서 15.7mm로 가장 짧았고 점점 증가하여 제5요추에서는 26.8mm를 나타냈으며 이를 척추경 중심축과 후방 피질이 만나는 점(regular distance)과 비교하면 제10, 11, 12흉추와 제1, 2, 3요추에서는 척추경의 중심점보다 약 3mm 정도 외측에 위치하였으나 제4, 5요추에서는 두점이 일치하였다(Table 5, Fig. 5).

5. 척추경 나사못 길이(screw length)

제10흉추에서 47.7mm로 가장 짧았고 하요추부로 내려갈수록 점점 증가하여 제3요추에서 최대치를 보여 54.1mm이었으며 제5요추에서는 51.2mm이었다(Table 6).

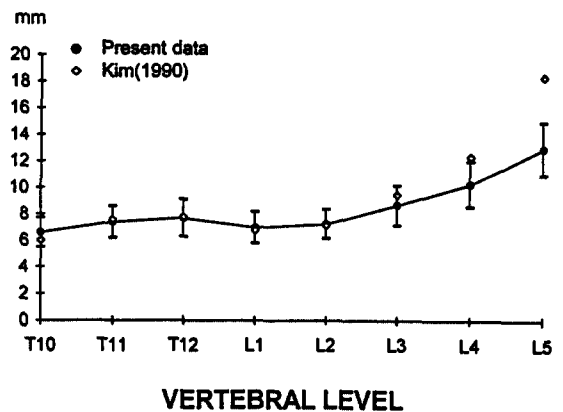


Fig. 2. Pedicle diameter means ± S.D. for each vertebral and compared with means(◇) from Kim(1990).

6. 척추경 직경의 남녀 비교

모든 부위에서 남자가 여자보다 척추경의 직경이 컸으며 제11흉추를 제외한 전부위에서 통계학적으로

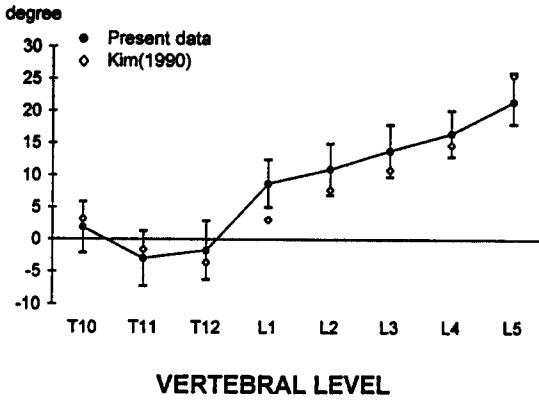


Fig. 3. Pedicle axis angle relative to coronal plane for each vertebral level. Means \pm are shown and compared with means (\diamond) from Kim (1990).

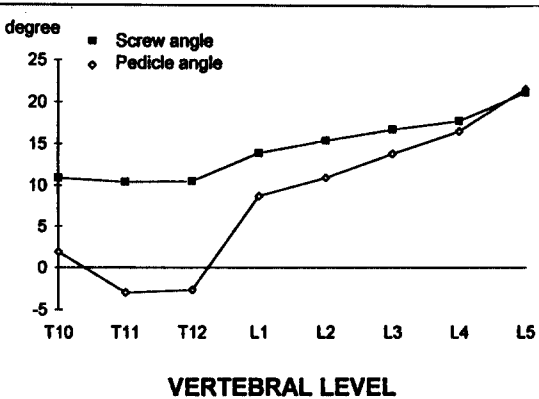


Fig. 4. Ideal screw angle (■) compared with pedicle angle (\diamond).

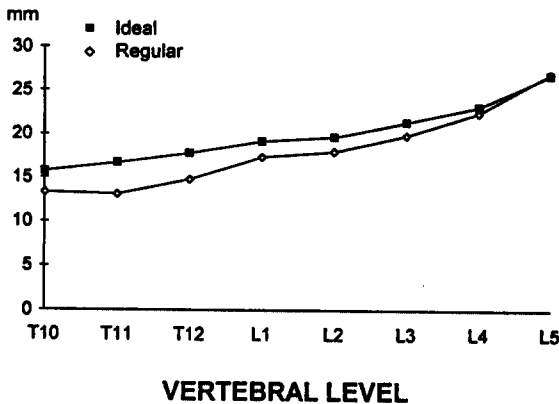


Fig. 5. ideal point of screw insertion (■) from midline compared with regular distance (\diamond).

Table 4. Screw angle versus pedicle angle (degree)

Level	Pedicle angle Mean \pm S. D.	screw angle Mean \pm S. D.
T10	1.9 \pm 4.0	10.9 \pm 2.5
T11	-3.0 \pm 4.3	10.4 \pm 2.7
T12	-1.7 \pm 4.6	10.5 \pm 2.6
L1	8.7 \pm 3.7	13.9 \pm 4.0
L2	10.9 \pm 4.0	15.4 \pm 4.7
L3	13.8 \pm 4.1	16.7 \pm 5.6
L4	16.5 \pm 3.6	17.7 \pm 6.0
L5	21.5 \pm 4.5	21.1 \pm 7.1

Table 5. Regular distance versus ideal distance (mm)

Level	Regular distance Mean \pm S. D.	ideal distance Mean \pm S. D.
T10	13.3 \pm 2.0	15.7 \pm 2.0
T11	13.1 \pm 2.0	16.7 \pm 2.1
T12	14.8 \pm 2.5	17.8 \pm 2.0
L1	17.4 \pm 1.8	19.2 \pm 2.1
L2	18.0 \pm 2.1	19.7 \pm 2.3
L3	19.9 \pm 2.6	21.4 \pm 2.6
L4	22.5 \pm 3.4	23.2 \pm 2.9
L5	27.0 \pm 4.7	26.8 \pm 3.5

유의한 차이가 있었다 (Table 7).

7. 척추경의 직경이 6mm 또는 5 mm 미만인 경우

일반적으로 사용되고 있는 척추못 나사못의 직경이 6mm이므로 척추경 직경이 6mm미만인 것을 조사해 보면 제10흉추에서 27.3%, 제1요추에서 23.9%, 제11흉추에서 12.5%이었고 타 부위는 10%미만이었다. 또한 5mm미만인 경우는 제10흉추에서 11.4%이었고 타 부위는 5%내외이었다 (Table 8).

고 찰

나사못을 이용한 요추부의 후방유합술은 King^{6,7)}에 의해 처음 보고된 이래 Boucher⁹⁾, Pennal¹⁰⁾에 의해 연구되어 왔으며, 1970년 Roy-Camille^{17,18)} 이후 척추경을 통한 나사못과 금속판을 이용한 척추골의 후방유합술이 보편화 되기 시작하였다. 척추경 나사못을 이용한 척추골의 유합술은 Harrington

Table 6. Screw length(mm)

Level	No. of cases	Mean±S. D	Minimum	Maximum
T10	89	47.7±3.9	35.7	57.5
T11	89	48.1±3.7	37.0	57.3
T12	89	48.4±4.2	30.9	57.8
L1	90	51.9±3.7	42.4	59.2
L2	90	52.7±3.4	45.4	61.1
L3	89	54.1±3.4	46.5	64.7
L4	89	53.7±4.0	42.1	71.5
L5	83	51.2±4.2	40.5	69.1

Table 7. Comparison of transverse pedicle diameter between male and female(mm)

Level	Male(N=42) Mean±S. D.	Female(N=31) Mean±S. D.	p Value
T10	6.8±1.3	6.3±0.6	<0.05
T11	7.5±1.3	7.1±0.8	N. S.
T12	7.9±1.4	7.3±1.0	<0.05
L1	7.3±1.3	6.4±0.8	<0.05
L2	7.6±1.1	6.6±0.7	<0.05
L3	9.1±1.5	7.8±1.0	<0.05
L4	10.7±1.8	9.6±1.3	<0.05
L5	13.6±2.0	11.8±1.3	<0.05

Table 8. Percentage less than 5 mm or 6 mm of transverse pedicle diameter in male versus female

Level	< 6mm			< 5mm		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total
T10	30.5	20.7	27.3	10.2	13.8	11.4
T11	13.6	10.3	12.5	5.1	6.9	5.7
T12	8.5	3.5	6.8	3.4	0.0	2.3
L1	20.3	31.0	23.9	5.1	6.9	5.9
L2	6.8	17.2	10.3	3.4	3.5	3.4
L3	0.0	3.5	1.1	0.0	0.0	0.0

신연기기를 사용하였을때보다 단분절 고정기 가능하고 단순 골이식보다 높은 골유합율을 보인다^{11,25)}.

척추경의 형태에 대해서는 1976년 Saillant¹⁹⁾가 보고한 이래 Zindrick등²⁴⁾과 Krag등¹¹⁾은 전산화 단층 촬영을 이용하여, Berry등⁵⁾과 Scoles등²⁰⁾은 골격을 직접 측정하여 보고한 바 있으며 국내에서는 1990년 김등¹⁾이 건조상태의 척추를 직접 측정하여 보고한 바 있다. 저자들의 경우에는 척추경 나사못

의 사용이 빈번한 제10흉추에서 제5요추까지를 척추경의 직경, 전후각 및 이상적인 나사못의 삽입방향과 삽입점, 나사못의 길이를 전산화 단층촬영상을 이용하여 측정 하였다.

전산화 단층 촬영을 이용한 측정치와 실측치와의 차이에 대해 Krag등¹¹⁾은 큰 차이가 없다고 하였고 신등³⁾은 실측치보다 약 5%정도 크게 측정 된다고 하였으므로 임상에서 전산화 단층촬영을 이용하여

측정한 값을 이용하여도 별 문제가 되지 않는다고 생각된다.

척추의 각종 질환 치료를 위해 척추경 나사못을 이용한 분절고정술이 일반화되고 있으며 적절한 척추경 나사못의 사용을 위해서는 척추경의 정확한 해부학적 형태를 대한 지식이 필요하다. 올바른 척추경 나사못의 삽입을 위해서는 첫째, bone-metal interface strength, 둘째, 척추경 주위의 신경조직이나 전방 피질 주위조직의 손상, 셋째 후돌기 관절 손상여부에 관심을 기울여야 한다⁸⁾.

Bone-metal interface strength는 나사못의 직경과 길이에 직접적인 관계가 있다. 즉 더 큰 직경과 긴 나사못은 고정력이 강하다는 것이다. 그러나 주위 신경조직이나 혈관손상을 피하기 위하여 사용할 나사못이 직경과 길이의 상한선을 정해야 한다.

나사못의 삽입시 삽입점과 방향을 결정하는데는 X-선 영상 증강장치를 이용하는 것과 해부학적 경계표(anatomical landmark)를 이용하는 방법이 있다^{1, 10, 14, 23)}.

Margel^{14, 15)}은 후관절의 상관절 돌기(superior articular process)의 외측을 지나고 횡돌기를 이분하는 선이 만나는 점을 삽입점으로 하여 나사못이 전내방으로 향하고 척추종판에 평행하게 삽입하였으며, Krag등¹⁰⁾은 횡돌기의 하방능과 상방능을 나누는 선과 후관절의 상관절 돌기 외측을 지나는 선과 만나는 점을 삽입점으로 하여 나사못이 전내방을 향하고 상부종판의 손상을 주지 않는 범위 안에서 cephalad로 향하게 하는 "in-and-up method"를 이용하였다.

이러한 방법은 후관절로부터 멀리 떨어져 후관절의 퇴행성 변화를 줄일 수 있으며 보다 긴 나사못을 사용할 수 있어 bone-screw interface strength를 증가시키고 toenailing effect를 발생하여 Pull-out strength와 상하척추에서의 lateral translation에 저항하는 힘이 커진다.

척추경의 직경은 나사못의 굵기를 선택 하는데 매우 중요하다. Krag등¹¹⁾은 척추경의 직경이 추체중심선에 0도, 15도, 또는 척추경을 따라 측정 한 값에 특별한 차이가 없으므로 나사못의 삽입각도가 나사못의 굵기 선택에는 큰 영향이 없다고 하였다.

또한, 요추부에서 6-7 mm의 나사못을 사용하여도 해부학적으로 문제가 없다고 하였으나 현재 사용

되고 있는 나사못의 굵기는 대부분이 6.0 mm-7.0 mm이고 한국인의 흉요추부 이행부위에서 척추경의 직경이 6 mm이하인 경우가 T₁₀에서 27.3%, L₁에서 23.9%, T₁₁에서 12.5%에서 나타났으므로 요추에서 6 mm의 척추경 나사못을 사용하는데 별 문제가 없으나 흉요추 이행부에서 6 mm 이상의 나사못을 사용할 때에는 술전 계획이 절대적으로 요구된다.

척추경 전후각은 제10, 11, 12흉추에서 전방 혹은 전외측을 향하므로 임상에서 척추경의 축을 따라 나사못을 삽입하였을 때는 추체의 외측으로 삽입하게 되고 나사못의 길이가 짧아 bone-metal interface strength가 감소하고 주위 혈관조직이나 신경조직 손상을 줄 위험이 높으므로 가능한 한 전내측으로 삽입해야 한다.

이러한 합병증을 줄이고 bone-metal strength를 증가시키기 위한 이상적인 나사못의 삽입방향을 술전 전산화 단층 촬영상에서 측정하였는데 제10, 11, 12흉추에서도 전내방으로 약 10도, 제1, 2, 3요추에서는 약 15도이었고 제4, 5요추에서는 20도를 보였다.

척추경 내에있는 해면질골은 추체보다 강하고 두꺼운 골소주로 되어있어 나사못을 고정하는데 보다 단단하므로 많은 저자들은 중심선에 평행하게 전방으로만 나사못을 삽입하는 것 만으로도 충분한 고정이 된다고 하였으나 생역학적 실험에서 보다 깊이 박힌 나사못이 상하, 또는 좌우 운동에 대하여 강하고 전방 피질까지 고정된 나사못이 pull-out strength에서 월등히 강한 것을 알 수 있다^{9, 25)}. 그러나 전방 피질까지의 삽입은 전방 피질 주위의 신경조직이나 혈관에 손상을 줄 수 있어 수술시 상당한 위험이 따른다.

긴 나사못 사용을 위해서는 후방에서 곧바로 전방으로 삽입하는 것보다 전내방으로 삽입하는 것이 보다 긴 나사못의 길이를 사용할 수 있으므로 후외방에서 전내방으로 삽입하는 것이 좋다.

본 연구에서는 전산화 단층 촬영상에서 이상적인 나사못의 길이를 측정한 결과 제10, 11, 12흉추사이에서는 47.7-48.4 mm 이고 요추에서는 51.2-54.1 mm로 측정 되었으므로 일반적으로 45mm와 50mm의 나사못 사용을 하면 안전하다고 할 수 있으나 제12흉추에서의 최소치는 31mm, 제5요추에

서의 최소치가 40.5mm이었으므로 술 전 전산화 단층 촬영상에서 삽입 나사못의 길이를 정확히 측정함으로써 수술시 위험을 예방할 수 있다.

나사못 삽입후에 발생할 수 있는 후관절의 퇴행성 변화를 줄이고 toenailing effect를 증가시키기 위해 가능한한 후관절의 상관절 돌기에서 회측으로 떨어져 나사못을 삽입하고 척추경 내에서 전내방으로 향하게 해야하는데 이러한 기준에서 이상적인 나사못의 삽입점을 정하고 나사못의 삽입각을 측정하였다.

나사못의 삽입시 삽입방향을 척추경의 방향을 따라 삽입하면 제10, 11, 12흉추에서는 전방 혹은 전외방으로 삽입하게 되고 삽입 가능한 나사못의 길이도 짧게 되므로 bone-screw interface strength 감소로 인해 pull-out strength와 lateral translation에 저항하는 힘이 감소된다. 따라서 이상적인 나사못의 삽입은 제10, 11, 12흉추와 제1, 2, 3요추에서는 나사못의 삽입점이, 척추경의 중심선이 후궁과 만나는 점보다 약 3 mm 정도 외측에서 시작하여 삽입각은 제10, 11, 12흉추에서는 전내측을 향해 약 10도, 제1, 2, 3요추에서는 약 15도로 삽입하는 것이 바람직하다.

요약 및 결론

연세대학교 원주의과대학 정형외과학교실에서는 1990년 12월부터 1992년 12월까지 전산화 단층촬영을 시행한 704개의 척추골을 대상으로 척추경의 형태를 측정 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 척추경의 직경은 제10흉추(6.6 mm)에서 가장 가늘었고, 제5요추(13.0 mm)에서 가장 굵게 측정 되었다.

2. 척추경의 전후각은 제11, 12흉추를 제외한 모든 부위에서 내측을 향하였다.

3. 이상적인 나사못의 길이는 각 부위에서 거의 일정하였다.

4. 이상적인 나사못의 삽입각은 제10, 11, 12흉추에서는 약 10도, 제1, 2, 3요추에서는 약 15도, 제4, 5요추에서는 약 20도이었다.

5. 척추경의 직경이 6 mm미만인 경우는 제10흉추에서 27.3%이었고 제1요추, 제11흉추, 제2요추 순었다.

이상의 결과를 종합해보면 수술 전 전산화 단층촬영상을 이용하여 사용할 나사못의 직경, 길이, 삽입 위치와 방향을 결정하는 방법이 주위의 신경조직이나 혈관손상을 줄일 수 있고 단단한 나사못 고정할 수 있는 좋은 방법으로 사료된다.

REFERENCE

- 1) 김남현, 이환모, 김호정, 정인혁, 김상진 : 한국인 척추궁 뿌리의 형태제측학적 연구. 대한정형외과학회지, 25:1199-1207, 1990.
- 2) 박희진, 김호성 : 후방척추기기를 이용한 흉추 및 요추부 불안정성 골절 및 탈구의 치료. 대한정형외과학회지, 26:710-718, 1991.
- 3) 신병준, 박재민, 김연일, 최창욱 : CT scan을 이용한 척추 제원 측정의 정확성 돼지 척추를 이용한 연구, 대한 척추학회 제10차 춘계학술대회에서 발표, 1993.
- 4) Boucher HH : A method of spinal fusion. *J Bone Joint Surg*, 41-B:248-259, 1950.
- 5) Berry JL, Moran JM, Berg WS and Steffee AD : A morphometric study of human lumbar and selected thoracic vertebrae. *Spine*, 12:362-367, 1987.
- 6) King D : Internal fixation for Lumbosacral fusion. *Am J Surg*, 66:357, 1944.
- 7) King D : Internal fixation for lumbosacral fusion. *J Bone Joint Surg*, 30-A:560, 1948.
- 8) Krag MH : Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation. *Spine*, 16:s84-s99, 1991.
- 9) Krag MH, Beynon BD, Pope MH, et al : An internal fixator for posterior application to short segments of the thoracic, lumbar, or lumbosacral spine. *Clin Orthop*. 203:75-98, 1986.
- 10) Krag MH, Van Hal ME and Beynon BD : Placement of transpedicular vertebral screws close to anterior vertebral cortex : Description of methods. *Spine*, 14:879-883, 1989.
- 11) Krag MH, Weaver DL, Beynon BD and Haugh LD : Morphometry of the thoracic and lumbar spine related to transpedicular screw placement for surgical spinal fixation. *Spine*, 13:27032, 1988.
- 12) Louis R : Fusion of the lumbar and sacral spine

- by internal fixation with screw plates. *Clin Orthop*, 203:18-33, 1986.
- 13) Luque ER : *The anatomic basis and development of segmental spinal instrumentation*. *Spine*, 7:256-259, 1982.
 - 14) Magerl F : *External spinal skeletal fixation, The external fixator*. PP. 290-365, New York, Springer-Verlag, 1985.
 - 15) Magerl FP : *Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation*. *Clin Orthop*, 189:125-141, 1984.
 - 16) Pennal G., McDonald GA and Dale GG : *A method of spinal fusion using internal fixation*. *Clin orthop*, 25:86, 1964.
 - 17) Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D and Marie-Anne S : *Early management of spinal injuries, in recent advances in orthopedics*, vol. 3. pp. 57-87, New York, Churchill Livingstone, 1979.
 - 18) Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D and Salgado V : *Osteosynthesis of thoraco-lumbar spine fractures with metal plates screwed through the vertebral pedicles*. *Reconstr Surg Traumatol*, 15:2-16, 1976.
 - 19) Saillant G : *Etude anatomique des pedicles vertebreaux, application chirurgicales*. *Rev Chir Orthop Traumatol.*, 62:151-160, 1976.
 - 20) Scoles RV, Linton AE, Latimer B, Levy ME and Digiovanni BF : *Vertebral body and posterior element morphology : The normal spine in middle life*. *Spine*, 13:1082-1086, 1988.
 - 21) Steffee AD, Sitkowski PAC and Topham LS : *Total vertebral body and pedicle arthroplasty*. *Clin Orthop*, 203:203-208, 1986.
 - 22) Sullivan JA : *Sublamminar wiring of Harrington rod for unstable thoracolumbar spine*. *Clin Orthop*, 189:178-185, 1984.
 - 23) Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, et al : *SPinal pedicle fixation : reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement*. *Spine*, 13:1012-1018, 1988.
 - 24) Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A et al : *Analysis of the morphometric characteristics of the lumbar and thoracic pedicles*. *Spine*, 12:160-166, 1987.
 - 25) Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH et al. : *A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine*. *Clin orthop*, 203:99-111, 1986.