

천추부 후방 나사못 고정에 대한 방사선학적 고찰

이화여자대학교 의과대학 신경외과학교실

조 용 재

= Abstract =

Radiological Evaluation of S1 Posterior Screw Placement

Yong Jae Cho

Department of Neurosurgery, Ewha womans University, School of Medicine

Axial computed tomographic scans were obtained from 40 normal sacrum for evaluation of screw length and angle in the posterior lumbosacral screw fixation. The best scans close to the inferior portion of S1 superior facet and the middle of S2 pedicle were chosen to evaluate various screw paths. Measurements of screw paths included the screw path lengths and angulations as well as the distances between the screw and the sacral canal. The results showed that no significant differences between male and female were found in any parameters, although the linear measurements were greater for male than for female. In S1, the greatest value of screw path lengths was noted in screw path VI (anterolaterally directed) with an average of 34.8 ± 2.97 mm. The mean distance between screw path I and the lateral cortex of the sacral canal was 5.6 ± 0.4 mm. For S2, the mean value (30.6 ± 2.08 mm) of screw path II (anterolaterally directed) was significantly greater than that (23.8 ± 1.93 mm) of screw path I (30° anteromedially directed) ($p \leq 0.001$). The mean distance between screw path I and the lateral cortex of the sacral canal was 4.0 ± 0.36 mm. This study showed that computed tomography (CT) scans provide more accurate information of screw path lengths. Preoperative CT evaluation of the sacral screw path angle and length is recommended.

KEY WORDS : Computed tomography · Sacrum · Sacral pedicle.

서 론

요천추부의 수술에는 감압술, 변형의 교정, 유합술 등이 있으며 감압술 및 변형의 교정과 함께 척추 유합술을 시행하기도 한다. 또한 최근 척추경 나사못 등의 내 고정물이 개발되고 급속하게 보급되어 이제는 척추경 나사못을 이용한 척추유합술이 보편화된 술식으로 시행되고 있다. 척추후방 유합술을 시행하는 데 있어 척추경

나사못을 사용하는 것은 많은 장점이 있다. 요추 및 천골에 발생하는 각종 질환 및 외상에 의해서 발생하는 불안정성등, 후방천골나사못 삽입이 필요한 경우는 많다. 특히 요천추부 불안정에 대한 외과적 치료로서 후방천골나사못 삽입은 효과적인 치료가 된다. 그러나, 천골의 복잡한 해부학적 구조로 인해 후방천골나사못 삽입경로를 정확히 확인하지 못함으로 인해 견고한 고정을 얻지 못하거나, 주변 신경 및 혈관에 손상을 줄 수가 있다. 특히 천골의 전방에는 총장골동맥, 총장골정맥과 요천추

신경근들이 위치하고 있어 정확한 후방천골나사못의 삽입과 삽입경로가 매우 중요하다고 할 수 있다. 정확한 후방천골나사못 삽입점과 삽입경로는 후방 천골 금속고정의 안정성과 견고성을 위해 필요하다고 할 수 있다. 본 연구는 한국인에 있어서 후방천골나사못의 적절한 삽입경로와 길이를 알아보기 위해, 컴퓨터전산화단층촬영을 통해 천골의 여러 가지 후방나사못삽입경로를 가상하여 측정함으로써 후방천골나사못의 적절한 경로와 길이를 유추해 보는 것이 목적이다.

방법 및 연구재료

1. 연구 대상

40명의 정상인(남 20명, 여 20명)의 요천추부 축성 컴퓨터전산화단층촬영사진(axial CT scan)을 통해 분석하였다. 요천추의 전방전위증, 척추분리증, 외상성 척추 등 요천추부에 질환이 있는 사람은 연구에 포함시키지 않았다. 컴퓨터전산화단층촬영상은 골촬영(bone window)을 시행하였다. 대상인들은 복와위에서 요천추부 컴퓨터전산화단층촬영을 시행받았으며, 컴퓨터전산화단층촬영면(gantry)은 제1천추골의 최상부(endplate of S1)에 평행하도록, 그리고 3mm 간격으로 시행되었다. 컴퓨터전산화단층촬영상들중 제1천추의 상관절(superior articular facet)의 하부에 가장 가깝게 촬영된 촬영상을 제1천추의 측정용 촬영상으로 정하고, 제2천추의 천추경(pedicle of S2)에서 촬영된 촬영상을 제2천추의 측정용 촬영상으로 정하여 측정하였다.

2. 측정 방법

모든 측정은 요천추부 축성 컴퓨터전산화단층촬영상의 좌측에서 시행하였으며, 좌우가 비대칭인 경우는 제외하였다. 측정단위는 나사못길이는 mm로 하였고, 삽입각도는 °로 하였다. 측정치는 소수점 첫째자리까지 측정하여 반영하였다. 통계처리시에는 소수점 2자리에서 반올림하여 소수점 1자리까지 표시하였다. 측정 지표는 제1천추와 제2천추로 나누어서 시행하였으며, 제1천추는 삽입경로 1, 삽입경로 2, 삽입경로 3, 삽입경로 4, 거리 1, 삽입각도 2, 삽입각도 3, 삽입각도 4를 측정하였고 제2천추는 삽입경로 1, 삽입경로 2, 거리 1, 삽입각도 2를 측정하였다. 각 측정지표의 설명은 다음과 같다.

1) 제1천골에서의 측정 (Fig. 1)

① 삽입경로 1 : 제1천추의 상관절의 측부로부터 천추의 전방까지 30° 각도(삽입각도 1)로 측정되었다(from the lateral border of the superior facet to the anterior cortex of the sacrum at 30° of medial inclination).

② 삽입경로 2 : 제1천추의 상관절의 내측과 외측 사이의 중간지점으로부터 천추신경관의 측면을 따라 천추의 전방까지 측정되었다(From the mid-point between the medial and lateral borders of the superior facet to the anterior cortex along the lateral cortex of the sacral canal).

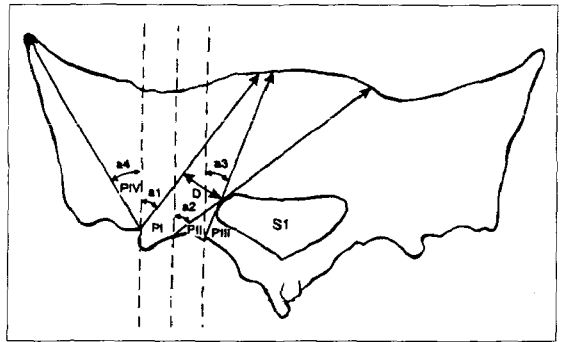


Fig. 1. Illustration of measurements of S1. P I(삽입경로 1) : 제1천추의 상관절의 측부로부터 천추의 전방까지 30° 각도(삽입각도 1)로 측정되었다(from the lateral border of the superior facet to the anterior cortex of the sacrum at 30° of medial inclination), P II(삽입경로 2) : 제1천추의 상관절의 내측과 외측 사이의 중간지점으로부터 천추신경관의 측면을 따라 천추의 전방까지 측정되었다(from the midpoint between the medial and lateral borders of the superior facet to the anterior cortex along the lateral cortex of the sacral canal), P III(삽입경로 3) : 제1천추의 상관절의 내측경계로부터 천추신경관을 따라 천추의 전방까지 측정되었다(from the medial border of the superior facet to the anterior cortex along the lateral cortex of the sacral canal), P IV(삽입경로 4) : 제1천추의 상관절의 외측경계로부터 천골의 최전방 골까지 측정되었다(from the lateral border of the superior facet to the anteriormost cortex of the ala), D(거리 1) : 제1천추의 삽입경로 1과 제1천추부위 천추신경관의 경계까지 측정되었다(distance between screw path 1 and the lateral cortex of the sacral canal), a1(삽입각도 1) : 30°, a2(삽입각도 2) : 제1천추의 삽입경로 2와 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도, a3(삽입각도 3) : 제1천추의 삽입경로 3과 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도, a4(삽입각도 4) : 제1천추의 삽입경로 4과 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도.

③ 삽입경로 3 : 제1천추의 상관절의 내측경계로부터 천추신경관을 따라 천추의 전방까지 측정되었다(from the medial border of the superior facet to the anterior cortex along the lateral cortex of the sacral canal).

④ 삽입경로 4 : 제1천추의 상관절의 외측경계로부터 천골익의 최전방 골까지 측정되었다(from the lateral border of the superior facet to the anteriormost cortex of the ala).

⑤ 거리 1 : 제1천추의 삽입경로1과 제1천추부위 천추신경관의 경계까지 측정되었다(distance between screw path I and the lateral cortex of the sacral canal).

⑥ 삽입각도 1 : 30°

⑦ 삽입각도 2 : 제1천추의 삽입경로 2와 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도

⑧ 삽입각도 3 : 제1천추의 삽입경로3과 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도

⑨ 삽입각도 4 : 제1천추의 삽입경로 4과 삽입점에서 전방 시상면과 이루는 각도

2) 제2천골에서의 측정 (Fig. 2)

① 삽입경로 1 : 제2천추경의 후방 중앙에서부터 천추의 전방까지 30° 각도(삽입각도1)로 측정되었다(from the posterior midpoint of the pedicle to the anterior cortex

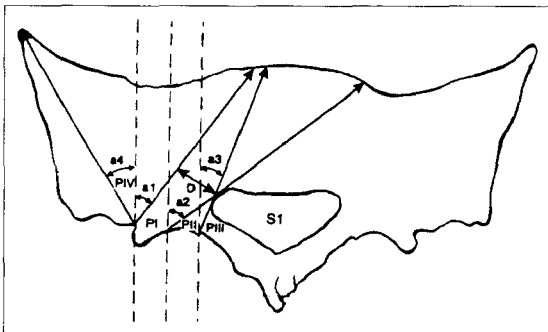


Fig. 2. Illustration of measurements of S2. P I(삽입경로 1) : 제2천추경의 후방 중앙에서부터 천추의 전방까지 30° 각도(삽입각도 1)로 측정되었다(from the posterior midpoint of the pedicle to the anterior cortex of the sacrum at 30° of medial inclination), P II(삽입경로 2) : 제2천추경의 후방 중앙에서부터 최전방의 천추외측과까지 측정되었다(from the posterior midpoint of the pedicle to the anteriormost cortex of the lateral mass), D(거리 1) : 제2천추의 삽입경로 1과 제2천추부위 천추신경관의 경계까지 측정되었다(distance between screw path I and the lateral cortex of the sacral canal), a1(삽입각도 1) : 30°, a2(삽입각도 2) : 제2천추의 삽입경로 2와 삽입점에서의 전방 시상면과 이루는 각도.

of the sacrum at 30° of medial inclination).

② 삽입경로 2 : 제2천추경의 후방 중앙에서부터 최전방의 천추외측과까지 측정되었다(From the posterior midpoint of the pedicle to the anteriormost cortex of the lateral mass).

③ 거리 1 : 제2천추의 삽입경로 1과 제2천추부위 천추신경관의 경계까지 측정되었다(distance between screw path I and the lateral cortex of the sacral canal).

④ 삽입각도 1 : 30°

⑤ 삽입각도 2 : 제2천추의 삽입경로 2와 삽입점에서의 전방 시상면과 이루는 각도

모든 나사못삽입 각도는 시상면에서의 각도로 측정되었다. 평균과 표준편차는 각 측정치에 대해 남자, 여자 각각으로 계산되었다.

3. 통계분석 방법

모든 측정치를 삽입경로별, 삽입각도별로 전체 그리고 성별에 따라 나사못길이의 도수, 평균, 범위, 최소값, 최대값, 표준편차를 구하였다. 측정치에 남녀간 유의한 차이가 있었는지 검증하기 위해 Student's t-test를 사용하였으며, $p \leq 0.05$ 일 때 유의하다고 평가하였고, 각 삽입경로의 나사못 길이에 대해 유의한 차이가 있는 지 검증하기 위해 Student's t-test를 사용하였으며, $p \leq 0.05$ 일 때 유의하다고 평가하였다.

결 과

각 측정치 값은 Table 1-3에 나타나 있다.

1. 환자의 일반적인 특성

대체적으로 남자의 측정치가 여자의 측정치보다 값이 컸으나, 측정치에 있어서 남녀간의 유의한 차이는 없었다($p \leq 0.005$). 측정대상 군의 나이는 15세에서 48세까지로 분포되었으며, 평균 연령은 29.9 ± 7.9 세 였다.

2. 제1천골의 나사못삽입길이 및 삽입각도 측정결과

각 측정치값은 Table 2에 나타나 있다. 측정치에 대한 남녀간 유의한 차이는 없었다. 제1천골의 삽입경로 1

Table 1. Patient demographics

Age	15 - 55 years
Mean age	33.3 ± 2.5 years
M : F	1 : 1

의 평균길이는 $30.9 \pm 1.99\text{mm}$ 였고, 최대값과 최소값은 각각 35.1mm 와 26.5mm 로 범위(최대값-최소값)는 8.6mm 였다. 삽입경로 2는 평균길이는 $33.6 \pm 2.12\text{mm}$ 였고, 최대값과 최소값은 각각 36.5mm 와 30.8mm 로 범위는 5.7mm 였다. 삽입경로 3의 평균길이는 $26.5 \pm 1.44\text{mm}$ 였고, 최대값과 최소값은 각각 28.8mm 와 23.5mm 로 범위는 5.3mm 였다. 삽입경로 4의 평균길이는 $34.8 \pm 2.97\text{mm}$ 였고 최대값과 최소값은 각각 38.55mm 와 29.5mm 로 범위는 9.0mm 였다. 삽입경로중 가장 긴 나사못삽입경로의 길이는 삽입경로 4의 경우로 평균 $34.8 \pm 2.97\text{mm}$ 이고 그 다음은 삽입경로 2로 평균은 $33.6 \pm 2.12\text{mm}$ 이었으며, 삽입경로 1 삽입경로 3의 순서였다.

Table 2. Anatomic parameters of screw path lengths and angulations of S1 (mean \pm SD)

	나사못길이 (mm)	나사못삽입각도 ($^{\circ}$)
삽입경로 1		
남	33.9 ± 6.9	30.0 ± 0.0
여	31.2 ± 7.4	30.0 ± 0.0
총계	32.5 ± 7.2	30.0 ± 0.0
삽입경로 2		
남	37.6 ± 5.3	6.3 ± 9.6
여	33.7 ± 5.3	7.1 ± 7.7
총계	35.3 ± 5.5	6.7 ± 8.4
삽입경로 3		
남	29.1 ± 3.4	39.0 ± 16.5
여	27.1 ± 3.5	27.6 ± 5.5
총계	28.1 ± 3.6	32.9 ± 13.1
삽입경로 4		
남	33.9 ± 9.0	32.1 ± 11.6
여	39.4 ± 4.3	33.8 ± 7.9
총계	36.9 ± 7.3	33.0 ± 9.7

Table 3. Anatomic parameters of screw path lengths and angulations of S2 (mean \pm SD)

	나사못길이 (mm)	나사못삽입각도 ($^{\circ}$)
삽입경로 1		
남	26.9 ± 4.4	30.0 ± 0.0
여	22.4 ± 4.2	30.0 ± 0.0
총계	24.2 ± 4.8	30.0 ± 0.0
삽입경로 2		
남	34.6 ± 8.7	46.4 ± 15.2
여	30.0 ± 6.2	45.6 ± 13.2
총계	31.9 ± 7.6	46.0 ± 13.9

거리 1의 평균은 $5.6 \pm 0.4\text{mm}$ 였으며 최대값과 최소값은 각각 6.0mm 와 4.6mm 로 범위는 1.4mm 였다. 삽입경로2, 3, 4의 삽입각도 평균은 각각 $47.9 \pm 1.77^{\circ}$, $21.0 \pm 2.03^{\circ}$, $27.0 \pm 2.09^{\circ}$ 였다.

3. 제2천골의 나사못삽입길이 및 삽입각도 측정결과

각 측정치값은 Table 3에 나타나 있다. 측정치에 있어서 남녀간의 유의한 차이는 없었다. 삽입경로 1은 평균 $23.8 \pm 1.93\text{mm}$ 로 최대값과 최소값은 각각 27.2mm 와 2.0mm 로 범위는 7.0mm 였다. 삽입경로 2는 평균 $30.6 \pm 2.08\text{mm}$ 로 최대값과 최소값은 각각 33.8mm 와 28.0mm 로 범위는 5.8mm 였다. 거리 1의 평균은 $4.0 \pm 0.36\text{mm}$ 였으며 최대값과 최소값은 각각 5.0mm 와 3.5mm 로 범위는 1.5mm 였다. 삽입경로 2의 삽입각도 평균은 $28.4 \pm 1.53^{\circ}$ 였다.

고 찰

추는 골 구조가 복잡하고 골다공증이 없는 환자라도 천골의 뼈가 약한 경우가 많으며, 후방기기의 무게가 무게 중심(center of gravity)과 척추의 시상면축보다 뒤에 위치하여 요천추의 큰 부하가 후방기기에 굴곡 moment와 cantilever 인장력으로 작용하기 때문에 고정하기가 어렵다⁹⁾. 천골의 복잡한 해부학적 구조로 인해 후방천골나사못 삽입경로를 정확히 확인하지 못함으로 인해 견고한 고정을 얻지 못하거나, 주변 신경 및 혈관에 손상을 줄 수가 있다. 천추는 뼈기 모양인 5개의 추체의 유합에 의해 형성된다. 유합은 각 추체의 횡돌기와 늑골돌기의 부분이 추간공의 외측에서 인접추체와 이루어지며, 골과 연골에 의해 둘러싸인 천골공을 형성한다. 특히 천골의 전방에는 총장골동맥, 총장골정맥과 요천추신경근들이 위치하고 있어 정확한 후방천골 나사못의 삽입점과 삽입경로 및 삽입길이가 매우 중요하다고 할 수 있다. 외측익의 전방에는 외장골 동, 정맥(external iliac artery, vein)이 지나가면 중앙에는 중천골 동맥(middle sacral artery)이 지나감으로 나사못이 수 mm정도만 전방 피질골을 통과하도록 하여야 한다. Milkovic 등은 천골 나사못고정에서 두 곳의 안전지역에 대해 기술하였으며, 이 곳은 천장관절과 요천추 신경총사이 및 천골갑과 내장골 정맥(internal iliac artery) 사이의 두 곳이다¹³⁾. 정확한 후방천골나사못 삽입점과 삽입경로는 후방요천

골 금속고정의 안정성과 견고성을 위해 필요하다. 천추의 척추경나사는 외측익(ala), 천골갑(promontory) 혹은 추체내로 삽입할 수 있으나, 직선 전방 방향인 추체내로 삽입하는 것은 인장 강도면에서 불리하고 위험하여 추천되지 않는다⁹⁾. 참고로 요추부의 척추경 나사못의 삽입지점을 지정하는 방법에는 3가지를 들 수 있다. 첫째는 횡으로는 횡돌기를 반으로 가르는 선과 종으로는 후관절을 통과하는 선이 만나는 점을 삽입점으로 하는 것이다(intersection technique). 둘째는 횡으로는 횡돌기를 반으로 가르는 선과 종으로는 상관절 돌기의 외연이 만나는 점을 삽입점으로 하는 것, 즉 척추경과 추궁관이 만나는 협부(pars articularis)를 삽입위치로 보는 방법이다(pars articularis technique). 셋째는 횡으로는 횡돌기의 아래 1/3을 지나는 선과 종으로는 상관절 돌기의 외연이 만나는 점을 삽입점으로 하는 것, 즉 횡돌기 기저부에 있는 유두돌기(mamillary process)를 삽입점으로 하는 방법이다(mamillary process technique). 이에 비해 천추부의 경우에는 나사못을 내측으로 삽입하는 방법과 외측(천골익, ala)을 향하여 삽입하는 방법 또는 내, 외측으로 하나씩 두 개의 나사못을 삽입하는 방법 등 여러 가지가 있는 데 가능하면 천추전방의 피질골까지(bicortical purchase) 나사못을 삽입하여야 보다 강력한 고정을 얻을 수 있다고 하였다¹⁰⁾. 후방천골나사못 삽입에 대한 몇 가지 기술적 고려들이 발표되어 왔다. Asher와 Strippen, Esses 등은 나사못을 전내방향으로 삽입하여 왔다. Edward와 Louis 등은 나사못삽입을 전측방으로 삽입하는 것을 선호해 왔다³⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾. Roy-camille 등은 two-screw insertion technique, 즉 하나는 전내방향(anteromedial direction)으로, 또 다른 것은 전측방향(anterolateral direction)으로 삽입하였다¹¹⁾. 이론적으로 나사못방향에 상관없이 나사못길이가 길수록 더 강한 고정을 얻을 수 있다고 생각되어진다. 또한 골의 양피질고정(bicortical purchase)이 단피질고정(unicortical purchase)에 비해 더 강한 고정을 준다고 알려져 왔다¹⁹⁾. 그러나, 필요 이상의 길이의 나사못은 천골의 전방면을 관통하여 천골 전면에 위치한 복강 내 내장기관이나 신경혈관구조에 손상을 줄 수 있다. 특히 Licht 등은 후방에서 전방으로 삽입하는 나사못이 너무 길 경우 좌총장간정맥이나 교감신경절을 손상시킬 수 있다고 했다. 또 전내방향삽입에서 나사못이 너무 길 경우 요추신경과 천추1번신경근을 손상시킬 수 있다고 하였다¹¹⁾. Mi-

rkovic 등은 전외측방향삽입시, 최대로 요추추신경손상이 55%, 천장관절손상이 10%, 내장골정맥손상이 8%이 일어날 수 있다고 하였다¹³⁾. 본 연구에서는 안전하면서도 강한 고정을 얻기 위한 후방천골나사못고정의 몇 가지 테크닉에 있어서 나사못길이에 대한 연구를 하였다. 삽입경로 2 또는 삽입경로 3(삽입경로 2-상관절의 내측과 외측 사이의 중간지점으로부터 천추신경관의 측면을 따라 천추의 전방까지 측정되었다. 삽입경로 3-상관절의 내측경계로부터 천추신경관을 따라 천추의 전방까지 측정되었다.)은 주변구조의 손상가능성으로 인해 제1천추에 대한 후방나사못고정으로는 적합하지 않을 수 있다. 이 두가지 경로는 천추신경관이나 제1천추신경과 너무 가깝기 때문이다. 제1천추에 대한 나사못은 삽입경로 1 또는 삽입경로 2가 적합할 것으로 사료되어진다(삽입경로 1-제1천추의 상관절의 바로 측하부로부터 천추의 전방까지 30도 각도로 측정되었다. 삽입경로 2-상관절의 내측과 외측 사이의 중간지점으로부터 천추신경관의 측면을 따라 천추의 전방까지 측정되었다.). 본 측정에서 있어서 거리 1은 5-6mm 정도로 측정되었다. 본 연구에 의하면 제1천추에 있어서 30도 전내방향의 나사못삽입시 나사못의 길이는 30에서 32mm가 적당할 것으로 사료되어지고 제2천추의 경우는 24에서 25mm가 적절 할 것으로 사료되어진다. 제1천추에 있어서 33도 전외측방향의 나사못삽입은 나사못길이가 37mm이고, 46도 전외측방향일 경우는 29에서 31mm로 측정되었다. 이런 측정결과로 볼 때 전외방향으로 삽입할때가 전내방향으로 삽입할때에 비해 나사못길이가 증가함을 제1천추, 제2천추 모두에게서 통계학적으로 유의있게 관찰되었다(Student t-test, $p \leq 0.001$). 일반적으로 나사못길이가 길수록 골과의 접촉면의 증가로 인해 더 강한 고정을 얻을 수 있다고 생각되어지며, 골의 양피질고정(bicortical purchase)이 단피질고정(unicortical purchase)에 비해 더 강한 고정을 준다고 알려져 왔다¹³⁾¹⁹⁾. 이런 결과들은 다른 연구자들의 연구결과와 일치하는 것으로 전외방향 삽입이 전내방향삽입에 비하여 더 강한 고정을 주며, 전방피질골을 수 mm 관통하는 삽입을 하는 것이 견고한 고정을 준다는 것을 통해 본 연구를 통해 천추의 후방 나사못고정은 삽입점에서 전외방향으로 삽입하며 그 길이는 제1천추의 경우는 37mm이고, 제2천추의 경우는 30mm임을 알 수 있다. 그러므로, 수술전의 제1천추와 제2천추의 전산화단층촬영을 통한 여러 가지 나사

못의 삽입경로의 삽입각도와 길이를 측정함으로써 환자들의 개인적인 차를 극복하여 안전하고도 강한 고정수술을 시행할 수 있다고 하였다.

결 론

저자는 천추의 후방나사못삽입고정에 있어 나사못길이와 삽입각도에 대한 측정결과를 얻고자 정상인 40명의 천추부 전산화단층촬영상을 분석, 측정하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 측정치의 절대값은 남자가 여자보다 컸으나, 통계학적으로 유의한 차는 없었다.

2) 천추1번과 천추2번에 대한 각 삽입경로의 나사못 길이와 삽입각도에 대한 측정값을 얻을 수 있었다.

3) 천추1번과 천추2번 모두에 있어서 전외방향 나사못 삽입(anterolateral direction)이 전내방향 나사못 삽입(anteromedial direction)에 비해 삽입되는 나사못 길이의 통계학적으로 유의한 증가가 있었다.

이상의 결과를 놓고 볼 때 수술전의 전산화단층촬영상을 통해 여러 가지 나사못의 삽입경로의 삽입각도와 길이를 측정함으로써 환자들의 개인적인 차를 극복하여 안전하고도 강한 고정수술을 시행할 수 있다고 하였다.

중심 단어 : 전산화단층촬영법 · 천골.

References

- 1) Aebi M, Etter C : *The internal skeletal fixation system ; A new treatment of thoracolumbar fracture and other spinal disorder. Clin Orthop* 1988 ; 227 : 30-43
- 2) AnHS and Cotler JM : *Spinal Instrumentation. 1st ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1992*
- 3) Asher MA, Strippen WE : *Anthropometric studies of the sacrum relating to dorsal transsacral implant designs. Clin Orthop* 1986 ; 203 : 58-62
- 4) Bayley JC, Yuan HA : *The syracuse-I plate. Spine* 1991 ; 16 : S120- S124
- 5) Carlson GD, Abitbol JJ, Anderson DR, Krag MH, Kostuik JP, Woo SL, et al : *Screw fixation in the human sacrum : An in vitro study of the biomechanics of fixation. Spine* 1992 ; 17 : S196-S203
- 6) Chan DP : *Zielke instrumentation. Inst Course Lect* 1983 ; 32 : 208-209

- 7) de Pretti F, Argeuson C, Bourgeon A, Omar F, Eude P, Aboulker C, et al : *Anatomic and experimental basis for the insertion of the insertion of a screw at the first sacral vertebra. Surg Radiol Anat* 1991 ; 13 : 133-137
- 8) Ebraheim NA, Mermer M, XU R, Yeasting RA : *Radio-logical evaluation of S1 dorsal screw placement. J Spinal Disord* 1996 ; 9 : 527-535
- 9) Edwards CC : *Sacral fixation device : Design and preliminary results. Proceedings of Scoliosis Research Society, September 1984, Ridge, Illinois, 1984 : 135-136*
- 10) Essess SI, Botsford DJ, Huler RJ, Rausching W : *Surgical anatomy of the sacrum : A guide for rational screw fixation. Spine* 1991 ; 16 : S283-S288
- 11) Krag M, Wiesel SW : *Spinal instrumentation, biomechanics of transpedicular spine fixation : The lumbar spine. 2nd ed., 1177-1203*
- 12) Krag MH : *Biomechanics of thoracolumbar spinal fixation. A Review Spine* 1991 ; 16 : S84-S99
- 13) Licht NJ, Rowe DE, Ross LM : *Pitfall of pedicle screw fixation in the sacrum : A cadaver model. Spine* 1992 ; 17 : 892-896
- 14) Louis R : *Fusion of the lumbar sacral spine by interal fixation with screw plates. Clin Orthop* 1986 ; 203 : 18-33
- 15) Mirkovic S, Abirbol JJ, Steinman J, Edwards CC, Schaffler M, Massie J, et al : *Anatomic consideration for sacral screw placement. Spine* 1991 ; 16 : S289-S294
- 16) Morse BJ, Ebraheim NA, Jackson WT : *Preoperative CT determination of angles for sacral screw placement. Spine* 1994 ; 19 : 604-607
- 17) Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C : *Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. Clin Orthop* 1986 ; 203 : 7-17
- 18) Steinmann JC, Mirkovic S, Abitbol JJ, Massie J, Subbaiah P, Garfin SR, et al : *Radiographic assessment of sacral screw placement. J Spinal Disord* 1990 ; 3 : 232-237
- 19) Xu R, Ebraheim NA, Mohamed A, El-Gamel H, Yeasting RA : *Anatomic consideration for dorsal sacral plate-screw fixation. J Spinal Disord* 1995 ; 8 : 352-356
- 20) XU R, Ebraheim NA, Yeasting RA, Wong FY, Jackson WT : *Morphometric evaluation of the first sacral vertebra and the projection of its pedicle on the posterior aspect of the sacrum. Spine* 1995 ; 20 : 936-940
- 21) Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, et al : *A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. Clin Orthop* 1986 ; 203 : 99-112