불안정 후방 골반환 손상에서의 고정 방법들: 천장골 나사못 고정술, S2AI 나사못 고정술, 후방 긴장밴드 금속판 고정술 및 척추골반 고정술

김동희*[§] · 장재훈[†] · 신명지[‡] · 정구희^{‡,§,✉}

경상대학교 의과대학 경상대학교병원 정형외과학교실*, 부산대학교병원 정형외과[†],
경상대학교 의과대학 창원경상대학교병원 정형외과학교실[‡], 경상대학교 건강과학연구원[§]

Fixation Options of Unstable Posterior Pelvic Ring Disruption: Ilio-Sacral Screw Fixation, S2AI Fixation, Posterior Tension Band Plate Fixation, and Spino-Pelvic Fixation

Dong-Hee Kim, M.D., Ph.D.*[§], Jae Hoon Jang, M.D.[†], Myungji Shin, M.D.[‡], Gu-Hee Jung, M.D., Ph.D.^{‡,§,✉}

Department of Orthopaedic Surgery, Gyeongsang National University Hospital, Gyeongsang National University College of Medicine*, Jinju,
Department of Orthopaedic Surgery, Pusan National University Hospital[†], Busan,
Department of Orthopaedic Surgery, Gyeongsang National University Changwon Hospital,
Gyeongsang National University College of Medicine[‡], Changwon, Institute of Health Sciences, Gyeongsang National University[§], Jinju, Korea

Received October 5, 2019

Revised October 7, 2019

Accepted October 7, 2019

✉Correspondence to:

Gu-Hee Jung, M.D., Ph.D.
Department of Orthopaedic Surgery,
Gyeongsang National University
Changwon Hospital, Gyeongsang
National University College of
Medicine, 11 Samjeongja-ro,
Seongsan-gu, Changwon 51472,
Korea

Tel: +82-55-214-3822

Fax: +82-55-214-3259

E-mail: jyujin2001@hotmail.com

Financial support: None.

Conflict of interests: None.

The fixation methods that can be used for unstable posterior pelvic ring injuries have undergone many innovative changes due to the recent development of surgical and imaging techniques. After understanding the appropriate indications of first and second sacroiliac screw fixation and spinopelvic fixation, innovative methods, including the trans-sacral screw fixation, posterior tension-band plate fixation, and the S2AI screw, would be chosen and applied. Considering the anatomical complexity and proximity to the surrounding vessels and nerves in the posterior fixation, the safe zone according to the fixation options should be well understood in preoperative planning. Moreover, the functional reduction of the posterior pelvic ring through the reduction and fixation of the anterior lesion should be achieved before placing the implant to reduce the number of malposition-related complications.

Key Words: Pelvis, Pelvic ring injury, Fixation option, Complications

서 론

고에너지성 손상으로 발생하게 되는 불안정한 골반환 손상은 사지 관절 및 다발성 장기에 대한 동반 손상의 가능성이 높은 것으로 알려져 있어 조기 재활을 통해 장기간의 침상안정과 관련된 합병증을 줄이기 위해서는 대개 수술적 치료가 필요하다. 수술적 치료를 시행함에 있어서 골 유합 및 조기 관절 운동이 진행되는 동안 확보된 기능적 정복을 유지할 수 있을 만큼 적절한 강도로 제공할 수 있는 고정방법을 선택하여야 한다.¹⁾ 외고정술은 회전 불안정 손상에서 제한적인 경우에 근본적인 치료로 사용되거나 혹은 생체 징후가 불안정한 다발성 골절 및 중증 외상 환자의 응급 상황에서 일시적 고정술로 사용될 수 있으나 정복의 소실이 많고 핀 부위 감염의 위험성이 있으며 환자의 불편감으로 장기간 유지하기 어려운 점 등으로 인해 불안정한 골반환 손상에서 다양한 방법을 통한 적절한 내고정술이 근본적인 치료로 사용되고 있다.

최근 컴퓨터 영상 기술이 발달되면서 임상 해부학과 접목되어 유용한 정보가 유도되고 있으며, 골반골 손상에서도 여러 보고를 통해 추가적인 시사점들이 보고되고 있다. 이에 불안정 골반환 손상에서 사용되고 있는 방법들의 특징 및 안전영역에 대한 문헌 고찰을 통해 실제 임상적용에 유용한 정보에 대해 기술하고자 한다.

본 론

1. 후방고정술을 위한 해부학적 특징 및 골절 정복

후방 골반환의 수술적 치료를 위한 해부학적 특징을 평가함에 있어서 이미 널리 알려진 신경 및 혈관의 복잡성 외에도 골반 이형성증 여부를 사전에 파악하는 것이 가장 중요한 부분이 될 수 있다. 서양인을 대상으로 한 연구에 의하면 거의

절반에서 골반 이형성증이 관찰된다고 보고되었다.^{2,3)} Routt 등³⁾은 골반 이형성증 진단을 위한 천골의 특징으로 천골 외상부의 급격한 경사, 유두 돌기의 존재, 제1천추간 디스크의 잔존, 제1천추공의 불규칙한 모양 등을 제시하였으나 실제적으로 골반 이형성 존재 여부에 대한 명확한 구분보다는 연속 선상에서 이형성 정도를 파악하여 예정된 후방 고정술의 내고정물과 관련된 안전 영역의 변화 및 고정 가능성 여부에 대한 판단이 수술 전에 이루어져야 할 것이다(Fig. 1).⁴⁻⁶⁾

특히 치골지 혹은 비구골 골절과 같은 전방 병변이 동반되고 후방 골반환을 포함한 손상된 부위 전체의 전위가 발생한 경우에는 내고정물을 위한 안전 영역 및 적절한 정복 정도를 확보하기 위한 방법들이 고려되어야 한다. 후방 골반환의 천골 및 천장관절에 대한 직접적인 정복술은 쉽지 않을 뿐만 아니라 복와위에서 시행되게 되므로 전방 골반 병변에 대한 수술적 치료가 필요한 경우에는 자세변환을 통한 추가적인 수술적 치료가 필요하게 된다. 그러므로 양와위를 통해 전방 병변에 대한 우선적인 정복 및 내고정술을 시행하여 이 후방 골반환의 기능적 정복 정도를 확인한 후 그에 따른 적절한 후방 고정술 방법이 고려되어야 할 것이다.

기능적 정복이 이루어진 후방 골반환 병변에 대한 고정술을 시행할 경우, 해부학적 복잡성으로 인해 영상 증폭기상의 해부학적 위치에 대한 수술자의 3차원적 이해가 관련된 합병증을 줄이는 데 아주 중요한 부분이 된다.^{7,8)} 측면영상에서는 장골의 피질골 경계를 따라 형성되는 선을 파악함으로써, ICD (Iliac Cortical Density) line, 제1천추체의 돌출 정도를 파악해야 한다.^{5,9)} 출구 영상의 이상적 각도는 알 수 없으나 천추골 외상부 상부 피질골이 천장 나사못 고정을 위한 안전 영역의 상부 경계면이 된다는 점을 감안하였을 때 반드시 확인되어야 한다. 입구 영상에서는 천골의 전방 절흔 및 추체 경계면을 파악해야 한다. 전방 추체 경계면은 얇은 피질골로 구성된 천골 골의 형태이므로 경계면이 불명확하며, 후방 경계

Fig. 1. (A, B) Sacral dysmorphism represents the acute angulation of sacral ala and reduced the corridor for iliosacral screw fixation. *Cortical perforation of screw.

Fig. 2. (A) Posterosuperior corners of sacrum were connected by imaginary line. Asterisks: body of 1st sacrum. (B) The virtual cylinder for ilio-sacral screw was placed according to the curve point. (C) the curve point could be visualized easily without additional support.

Fig. 3. (A) Lateral radiographs showed the safe zone of 1st and 2nd sacrum. (B, C) The conventional ilio-sacral screw was placed toward the opposite corner of superior endplate.

면도 여러 구조물의 중첩으로 인하여 명확하게 구분되지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 Kwak 등⁷⁾은 해부학적 연구를 통해 천골 외측 관절면의 후상방 경계를 연결하는 가상의 선이 후방경계면과 일치하며 영상 증폭기에서는 curve point로 관찰된다고 하였다(Fig. 2). 따라서 curve points를 이용함으로써 후방 경계면을 확인하여 천장 나사못 고정술을 위한 안전 영역을 예측할 수 있게 된다.

2. 천장 나사못 고정술(sacro-iliac screw fixation)

불안정성 골반환 손상에서 천장 나사못 고정술은 최소 침습적 방법으로 가장 널리 사용되고 있는 일반적인 방법이나 여러 이유들로 인하여 수직적 오류를 포함한 합병증이 드물지 않게 발생하고 있다는 것은 널리 인지되고 있는 사실이다.^{3,10-12)} 이러한 합병증을 줄이기 위해서는 크게 3가지로 구분하여 사전 평가를 실시하고 수술 계획 시 고려해야 할 것이다. 첫 번째로 천장 나사못 고정술의 생역학적 특징 및 손상 기전에 의한 불안정성 방향을 고려하여 적절한 적응증 여부에 대한 판단이 이루어져야 한다.¹²⁾ 최근 Kim 등¹²⁾은 수직 전

단력으로 인한 골반환 손상에서 하나의 천장 나사못을 고정을 시행한 37명의 환자 중 8명(21.6%)에서 고정 실패가 발생하여 추가적인 방법이나 혹은 다른 고정방법이 필요할 수 있을 것으로 보고하였다. 따라서 수직 전단력 손상에 의한 후방 골반환 손상에서 골절의 분쇄성 정도 및 위치를 고려하여 천장 나사못 고정술이 시행되어야 할 것이다. 두 번째로는 이미 기술된 바, 천장골 나사못 고정술의 안전 영역 및 고정 방향에 직접적인 영향을 미치게 되는 골반 이형성증의 정도의 평가이다.^{5,13)} 세 번째로는 수술 중 안전 영역의 정확한 평가와 나사못의 위치 및 방향에 대한 왜곡을 줄이기 위한 영상 증폭 장치의 사용에 대한 부분일 것이다.^{7,11,14)} 영상 증폭기를 통해 장골의 피질골 경계면 선을 잘 파악하여 안전 영역을 확인하여야 하며, 양측 curve point를 연결하는 가상의 선을 통해 추체 후방 경계면을 확인함으로써 후방 피질골 천공을 예방할 수 있게 된다(Fig. 2).

도식적인 천장 나사못은 장골에서 맞은편 제1천추 상부 종말판을 향하면서 추체의 상부에 그 끝이 위치하도록 하는 것이 가장 이상적이어서 사선의 형태를 취하게 된다(Fig. 3).⁸⁾ 따라서 손상된 부위가 천장관절에서 가장 멀리 떨어진 Denis

Fig. 4. (A-C) The trans-sacral trans-iliac screw should be placed transversely just below the ICD line. (D, E) The entry point was placed just anterior to the curve point. (F, G) The screw did not pierce the cortex around the sacral canal and foramen.

Fig. 5. (A) Unstable pelvic ring injury in a 20-year-old male showing the involvement of spinal canal and comminution of upper sacral surface. (B) The trans-sacral trans-iliac screw was performed after the anterior fixation for achieving the functional reduction of sacrum. (C) The radiographs after 12 months showed neither a loss of reduction nor screw back-out.

분류 III형의 골절이거나 분쇄성 천추 골절, 골다공증성 골절인 경우에는 고정력이 감소될 수밖에 없으며, 양성측 천장 관절주위 손상에서는 사용할 수가 없어 다른 고정 방법이 필요

할 수 있다(Fig. 4). 이에 도식적인 천장 나사못의 고정력 강화 및 대안으로써 경천골 나사못 고정술(transsacral-transiliac screw fixation)이 제한적으로 시행될 수 있으나, 골반 이형성

증과 관련된 안전 영역의 변화로 인하여 제1천추 고정술이 불가능할 경우가 있어서 이에 대한 수술 전 평가가 반드시 시행되어야 한다(Fig. 5).^{5,15,16} 골반 이형성증의 정의에 따라 장골에 비해 돌출된 1천추의 정도를 3차원 렌더링 프로그램을 이용하여 객관적으로 측정함으로써 Mendel 등¹⁵과 Jeong 등⁵은 수술 전 예측 가능한 변수들을 발표하였다(Fig. 6). Jeong 등⁵은 일반적인 3차원 재건 컴퓨터 단층촬영 영상을 이용하여 돌출 정도를 분류한 후, 1천추의 전방 돌출의 높이(variable of basal height)가 20.6 mm 이상일 경우 경천골 나사못 고정술이 불가능하다고 보고하였다.

Fig. 6. (A, B) The variable of basal height could be measured using the three-dimensional biplanar image in the opposite side.

골반 이형성증으로 인해 제1천추에 대한 경천골 나사못 고정술이 불가능할 경우 제2천추에 대한 경천골 나사못 고정술이 시행될 수 있다.^{6,17,18} 제2천추골은 일반적으로 골강도가 떨어지고 천장 나사못 고정술을 위한 안전 영역이 적어 내고 고정술이 힘들 것으로 예상되어 왔으나 최근 많은 해부학적 연구 및 임상적 연구를 통해 가능성이 증명되고 있다. 특히 골반 이형성증이 있는 경우에 제1천추와 반비례하여 경천골 나사못을 위한 안전 영역이 증가됨을 감안하였을 때 유용한 고정 방법이 될 수 있다(Fig. 7).

3. 척추골반 고정술(spino-pelvic fixation)

척추골반 고정술은 천골 골절이 동반된 후방 골반환 손상에서 척추골반 불안정 (spinopelvic dissociation)이 발생한 경우에 제한적으로 시행될 수 있는 고정법이다(Fig. 8). 척추골반 불안정은 수직 전단력에 의한 고에너지성 손상으로 발생하게 되며 장골 나사못(ilic screw)이 아주 중요한 역할을 하게 되므로 충분한 고정력 확보가 전제될 수 있는 부위에 시행되어야 한다.^{4,19-21} 장골 나사못은 전하방 장골극을 향해 충분히 삽입되어야 함을 고려하여 영상증폭기를 장골과 평행하게 위치시킴으로써 쉽게 고정이 가능하다. 그러나 장골 나사못 고정술은 추가적인 절개 및 상당한 박리 과정이 삽입구 노

Fig. 7. (A, B) The safe zone of the 2nd sacrum can be observed easily in the lateral radiographs of pelvis and increased inversely according to the sacral dysmorphism.

Fig. 8. (A-C) A 63-year-old male sustained an unstable pelvic injury with spino-pelvic dissociation. (B, C) The spino-pelvic fixation was performed and showed the iliac screw, which was used with the connecting rod. (D) The radiograph after 12 months showed the maintenance of pelvic ring.

출을 위해 필요할 뿐만 아니라 위치적 특징으로 인한 돌출로 인해 많은 불편감을 초래하게 된다. 돌출을 줄이기 위해 후상방 장골능의 제거를 통한 고정술이 이루어질 수 있으나 그 사용에 있어서 적지 않은 부담이 있어 왔다.^{20,22)} 이에 최근 대안으로써 S2 alar-iliac (S2AI) 나사못 고정술이 제한적으로 사용되고 있으나 수술적 수기가 비교적 쉽지 않은 것으로 알려져 있다.

4. S2AI 나사못 고정술(S2 alar-iliac screw fixation)

S2AI 나사못 고정술은 척추골반 고정술에서 중요한 역할을 하는 장골 나사못과 관련된 합병증 및 환자 불편감을 줄이기 위해 대안으로써 최근 사용되고 있으나 수술적 수기에 있어서 많은 차이점이 있어 주의가 필요하게 된다. 척추골반 고정술에서의 장골 나사는 전체 길이에서 피질골 내에 위치하게 되어 비교적 삽입이 용이하였으나, S2AI 나사못은 제2 천추 후방 피질골에서 천장관절을 통과하여 장골내에 충분히 길게 고정되어야 하는 다소 복잡한 경로를 취하게 된다.

따라서 안전한 삽입구 및 방향의 선정이 중요한 부분을 차지하게 되므로 보고된 문헌들²²⁻²⁴⁾에 대한 고찰을 통해 사전 숙지가 필요하게 된다(Fig. 9).

S2AI 나사못 고정술을 위한 삽입구는 요추 척추경 나사못의 연장선상에서 첫 번째와 두 번째 후방 천공 사이 후방 피질골에 만들어지게 되며, 장골 경사 영상에서 나사못 방향이 대좌골 절흔의 상부 경계면과 가깝게 위치되도록 해야 한다.^{19,22-25)} 골반 입구 영상에서는 종말선의 천공 없이 최대한 근접되도록 나사못 방향이 선정되어야 한다(Fig. 10). 유도 강선을 통한 나사못 고정술 시 외측으로 전위되는 경향이 있으므로 약간 내측에서 삽입구를 생성해야 하며, 외측으로 전위된 나사못은 천장관절을 통해 삽입될 수 있으므로 항상 주의하여야 한다.

5. 후방 긴장밴드 금속판 고정술(posterior tension band plate fixation, PTBP 고정술)

후방 골반환 손상을 위한 고식적 금속판 고정술은 나사못

Fig. 9. (A-C) S2 alar-iliac (S2AI) screw should be toward the AIIS and passed just over the superior rim of the greater sciatic notch, above the greater sciatic notch. (D) The screw trajectory was from the dorsal cortex of the sacrum to the inner ilium by penetrating the sacro-iliac joint.

Fig. 10. (A) A 57-year-old male sustained an unstable pelvic injury with L5 body fracture. (B) First, the pedicle screw of L4 and L5 was placed percutaneously and made the entry portal for the S2 alar-iliac (S2AI) screw. (C) The postoperative radiographs showed the functional reduction of the pelvis. (D) Follow-up radiographs at eight weeks showed the maintenance of reduction adequacy.

Fig. 11. (A) A 71-year-old female sustained of an unstable pelvic injury (sacral fracture). (B-D) The PTB plate fixation was performed and the osseous corridor was used to achieve the maximal screw length. (E-H) The postoperative radiographs showed an acceptable reduction of the pelvis. (I) The follow-up radiographs at 12 months showed the maintenance of reduction.

고정술을 위한 골성 조직이 부족할 뿐만 아니라 전방 피질골 고정이 포함된 견고한 고정이 불가능하였다. 또한 해부학적 복잡성 및 신경근으로 인해 나사못 방향 선정에 많은 제한이 있어왔으나, 최근 잠김 금속판 기술의 도입으로 양측 장골 외측면의 고정이 포함되는 PTBP 고정술이 양측 두개의 절개를 통한 최소 침습적 방법으로 널리 시행되고 있다.²⁶⁾ 위치적 특징으로 인한 금속판 돌출을 줄이기 위해서는 극상돌기를 경피적으로 절골한 후 금속판을 위치시켜야 한다. 후방 피질골 부위에서의 나사못 삽입을 통한 고정력 증대를 시행할 경우에는 S2AI 나사못 고정술을 위한 안전 영역을 고려하여 나사못 방향을 삽입하면 충분한 길이의 고정술이 시행될 수 있다 (Fig. 11).

결론

불안정 후방 골반환 손상에 사용될 수 있는 고정방법에서 널리 사용되고 있는 천장골 나사못 고정술은 수직전단 불안정에서 합병증이 높은 것으로 보고되어 최근 경천골 나사못 고정술이 시행되고 있으나 수술 전 계획에서 안전 영역의 측정을 통한 고정 가능성 여부에 대한 평가가 이루어져야 한다. 척추골반 불안정 손상에서 사용되어 왔던 척추골반 고정술은 장골 나사못과 관련된 합병증이 문제가 되어 왔으나 최근에 사용되고 있는 S2AI 나사못 고정술이 좋은 대안이 될 수 있을 것이다. 그러나 보다 긴 길이의 임플란트를 사용하게 되면 안전 영역이 줄어들 뿐만 아니라 관련된 합병증의 발생 가능성이 높아진다는 점을 감안하였을 때 후방 긴장밴드 금속판 고정술은 아주 유용한 방법이다. 특히 제2천추 피질골 부

위에서 S2AI 나사못을 위한 안전 영역 방향으로 나사못 고정술을 시행하게 되며 추가적인 고정력을 얻을 수 있게 된다.

요약

불안정 후방 골반환 손상에서 사용될 수 있는 고정방법들은 최근 수술 수기 및 영상 공학의 발달로 인하여 많은 발전적 변화가 있다. 고식적인 제1천추의 천장 나사못 고정술 및 척추골반 고정술에서 제1, 2천추의 경천골 나사못 고정술, 후방 긴장밴드 금속판 고정술, 그리고 S2AI 나사못이 추가되어 널리 사용되고 있다는 점을 고려하였을 때 적절한 적응증을 이해한 후 가장 적합한 고정방법을 선택하여야 할 것이다. 후방 고정술 시 해부학적인 복잡성과 주위 혈관 및 신경과의 근접성을 고려하였을 때 내고정물에 따른 안전 영역을 사전에 잘 파악하여야 하며, 전방 병변 정복 및 고정들을 통하여 후방 골반환의 기능적 정복을 얻은 후에 내고정물 삽입술이 시행되어야 수기적 합병증을 줄일 수가 있게 된다.

색인 단어: 골반, 골반환손상, 고정법, 합병증

ORCID

김동희, <https://orcid.org/0000-0001-6378-4218>

장재훈, <https://orcid.org/0000-0002-2636-7957>

신명지, <https://orcid.org/0000-0003-3706-7914>

정구희, <https://orcid.org/0000-0002-9751-4678>

References

1. Wong JM, Bucknill A: Fractures of the pelvic ring. *Injury*, 48: 795–802, 2017.
2. Gardner MJ, Morshed S, Nork SE, Ricci WM, Chip Routt ML Jr: Quantification of the upper and second sacral segment safe zones in normal and dysmorphic sacra. *J Orthop Trauma*, 24: 622–629, 2010.
3. Routt ML Jr, Simonian PT, Agnew SG, Mann FA: Radiographic recognition of the sacral alar slope for optimal placement of ilio-sacral screws: a cadaveric and clinical study. *J Orthop Trauma*, 10: 171–177, 1996.
4. Kleweno C, Bellabarba C: Lumbopelvic fixation for pelvic fractures. *Oper Tech Orthop*, 25: 270–281, 2015.
5. Jeong JH, Jin JW, Kang BY, Jung GH: Can the possibility of transverse iliosacral screw fixation for first sacral segment be predicted preoperatively? Results of a computational cadaveric study. *Injury*, 48: 2074–2079, 2017.
6. Miller AN, Routt ML Jr: Variations in sacral morphology and implications for iliosacral screw fixation. *J Am Acad Orthop Surg*, 20: 8–16, 2012.
7. Kwak JM, Heo S, Jung GH: Successful use of fluoroscopic inlet and outlet views to verify safe screw trajectories when placing Percutaneous iliosacral screws. *Med Case Rep J*, 103: 7–9, 2018.
8. Routt ML Jr, Simonian PT, Mills WJ: Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique. *J Orthop Trauma*, 11: 584–589, 1997.
9. Ziran BH, Wasan AD, Marks DM, Olson SA, Chapman MW: Fluoroscopic imaging guides of the posterior pelvis pertaining to iliosacral screw placement. *J Trauma*, 62: 347–356; discussion 356, 2007.
10. Conflitti JM, Graves ML, Chip Routt ML Jr: Radiographic quantification and analysis of dysmorphic upper sacral osseous anatomy and associated iliosacral screw insertions. *J Orthop Trauma*, 24: 630–636, 2010.
11. Sagi HC, Lindvall EM: Inadvertent intraforaminal iliosacral screw placement despite apparent appropriate positioning on intraoperative fluoroscopy. *J Orthop Trauma*, 19: 130–133, 2005.
12. Kim JW, Oh CW, Oh JK, et al: The incidence of and factors affecting iliosacral screw loosening in pelvic ring injury. *Arch Orthop Trauma Surg*, 136: 921–927, 2016.
13. Gardner MJ, Routt ML Jr: Transiliac-transsacral screws for posterior pelvic stabilization. *J Orthop Trauma*, 25: 378–384, 2011.
14. Wolinsky P, Lee M: The effect of C-arm malrotation on iliosacral screw placement. *J Orthop Trauma*, 21: 427–434, 2007.
15. Mendel T, Noser H, Wohlrab D, Stock K, Radetzki F: The lateral sacral triangle—a decision support for secure transverse sacroiliac screw insertion. *Injury*, 42: 1164–1170, 2011.
16. Chon CS, Jeong JH, Kang B, Kim HS, Jung GH: Computational simulation study on ilio-sacral screw fixations for pelvic ring injuries and implications in Asian sacrum. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 28: 439–444, 2018.
17. Wagner D, Kamer L, Sawaguchi T, et al: Critical dimensions of trans-sacral corridors assessed by 3D CT models: relevance for implant positioning in fractures of the sacrum. *J Orthop Res*, 35: 2577–2584, 2017.
18. Yeo KH, Moon NH, Ahn JM, Jeong JY, Jang JH: Surgical outcome of posterior pelvic fixation using S1, S2 screws in vertically unstable pelvic ring injury. *J Korean Fract Soc*, 31: 9–17, 2018.
19. Elder BD, Ishida W, Lo SL, et al: Use of S2-alar-iliac screws associated with less complications than Iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 42: E142–E149, 2017.
20. Andrade NS, Okafor L, Neuman BJ: Novel technique for sacral alar-iliac (S2AI) fixation. *Clin Spine Surg*, 31: 373–376, 2017.
21. Shabtai L, Andras LM, Portman M, et al: Sacral alar iliac (SAI) screws fail 75% less frequently than iliac screws in neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop*, 37: e470–e475, 2017.
22. Jeong ST, Park YS, Jung GH: Computational simulation of sacral-alar-iliac (S2AI) screw fixation of pelvis and implications for fluoroscopic procedure: a cadaver study. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 27: 2309499019836246, 2019.
23. O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, Sponseller P, Kebaish KM: An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement. *Spine (Phila Pa 1976)*, 34: E439–E442, 2009.
24. Yamada K, Higashi T, Kaneko K, Ide M, Sekiya T, Saito T: Optimal trajectory and insertion accuracy of sacral alar iliac screws. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 51: 313–318, 2017.
25. Sponseller PD, Zimmerman RM, Ko PS, et al: Low profile pelvic fixation with the sacral alar iliac technique in the pediatric population improves results at two-year minimum follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*, 35: 1887–1892, 2010.
26. Acklin YP, Marco G, Sommer C: Double locking plate fixation of sacral fractures in unstable pelvic ring C-type injuries. *Oper Orthop Traumatol*, 27: 74–79, 2015.