골다공증성 천골 골절에서 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정

김철환 · 정영률 · 심승우 · 백성년 · 김충영[✉]

광주기독병원 정형외과

Percutaneous Iliosacral Screw Fixation with Cement Augmentation in Osteoporotic Sacral Fracture

Cheol-hwan Kim, M.D., Young-yool Chung, M.D., Ph.D., Seung-woo Shim, M.D.,
Sung-nyun Baek, M.D., Choong-young Kim, M.D.[✉]

Department of Orthopedic Surgery, Kwangju Christian Hospital, Gwangju, Korea

Received June 10, 2019
Revised (1st) July 3, 2019
(2nd) July 25, 2019
Accepted August 8, 2019

✉Correspondence to:

Choong-young Kim, M.D.
Department of Orthopedic Surgery,
Kwangju Christian Hospital, 37
Yangnim-ro, Nam-gu, Gwangju
61661, Korea
Tel: +82-62-650-5064
Fax: +82-62-650-5066
E-mail: mojiri07@naver.com

Financial support: None.
Conflict of interests: None.

Purpose: The prevalence of osteoporotic sacral fractures is increasing. Traditionally, conservative treatment is the 1st option, but it can increase the risk of comorbidity in the elderly. To reduce the complications and allow early mobility, iliosacral screw fixation with cement augmentation will be one of the treatment options for patients with osteoporotic sacral fractures.

Materials and Methods: This study reviewed 25 patients (30 cases) who had undergone percutaneous iliosacral screw fixation with cement augmentation for osteoporotic sacral fractures from July 2012 to December 2018 with a minimum follow up of six months. The clinical outcomes were assessed using the measures of pain (visual analogue scale [VAS] score), hospital stay and the date when weight-bearing started. All patients were evaluated radiologically for pull-out of screw, bone-union, and cement-leakage.

Results: Bone union was achieved in 30 cases (100%). The mean duration of the hospital stay was 24 days (4-66 days); weight-bearing was performed on an average nine days after surgery. The VAS scores immediately (3.16) and three months after surgery (2.63) were lower than that of the preoperative VAS score (8.3) ($p<0.05$). No cases of cement-leakage or neurologic symptoms were encountered. Two patients (6.7%) experienced a pulling-out of the screw, but bone-union was accomplished without any additional procedures.

Conclusion: Percutaneous iliosacral fixation with cement augmentation will be an appropriate and safe surgical option for osteoporotic sacral fractures in the elderly in terms of early weight-bearing, pain reduction, and bone-union.

Key Words: Osteoporotic fractures, Sacrum, Fracture internal-fixation, Bone-cement

서론

골다공증이 있는 노인 인구의 증가로 인해 골다공증성 천골 골절의 유병률이 증가하고 있다. 천골 골절은 보행이 어려울 정도의 심한 통증을 유발하는 골절로 비수술적인 치료 및 수술적인 치료방법이 보고되고 있다.¹⁻³⁾ 천골 골절의 비수술적 치료로는 장기간 보행 제한과 통증 조절을 주로 시행하였으나⁴⁾ 이는 불유합을 유발할 수 있고, 심부정맥 혈전증, 폐색전증, 욕창, 근위축 등의 합병증 발생 위험성이 증가할 수 있다.¹⁾

최근 들어 골다공증성 천골 골절 치료에서 천골 성형술이 임상적으로 좋은 결과를 얻고 있다는 연구가 발표되고 있다. 경피적 천골 성형술은 통증 조절 및 조기 보행이 가능하며 수술 위험도가 높은 고령의 환자에서도 시술할 수 있는 장점이 있다.¹⁾ 그러나 경피적 천골 성형술은 골절 부위의 내고정술과 비교하면 전단력에 취약하여 고정력이 떨어지고 그로 인한 생체 역학적 불안정성으로 골절의 치유력이 떨어지는 단점이 있다.

천장 나사, 횡장골 대(transiliac bar), 후방 경장골 금속판을 이용한 후방 고정은 생체 역학적으로 골절이 안정화되며, 조기 체중 부하가 가능하게 되고 통증 조절에 효과적이다.²⁾ 특히 천장 나사를 이용한 내고정은 방사선 투시 영상을 이용하여 수술을 하는 정형외과 의사에게 익숙한 방법이다. 그러나 골다공증성 천골 골절 환자의 대부분은 골질이 불량하여

견고한 내고정이 안될 수 있으며, 이로 인해 골절 부위의 불안정성이 증가하여 불유합이 발생하거나 골절 부위의 동통이 지속될 수 있다는 단점이 있다.⁵⁾

본원에서 골다공증성 천골 골절로 진단되어 단순 경피적 천장 나사 고정을 시행한 고령의 환자들 중 천장 나사가 유지되지 않고 나사의 고정이 소실되어 이완되는 합병증이 발생한 사례가 있었다(Fig. 1). 이에 본 저자들은 골다공증성 척추 및 고관절 골절의 나사 고정 시 사용한 시멘트 보강을 응용하여 골다공증성 천골 골절에 대한 치료를 시행하고 이에 대해 임상적, 방사선적으로 결과를 분석하여, 시멘트 보강을 이용한 수술법이 효과적이고 안전한 치료 방법이 될 수 있는지에 대해서 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2012년 7월부터 2018년 12월까지 천골 골절이 있는 환자 중 단일 술자에 의해 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정을 시행한 환자 25명, 총 30예를 대상으로 후향적인 분석을 시행하였다(Table 1). 술 전 천골 골절의 진단을 위해 단순 방사선 검사 및 컴퓨터 단층촬영을 시행하였고, 골절이 확인되지 않은 경우에는 자기공명영상 검사나 골주사 검사를 시행하였다.^{3,6)} Denis 분류상 zone I (천추의 부위), zone II (천

Fig. 1. (A) Guide-wire was inserted through the fracture sited guided C-arm. (B) A cannulated screw was then inserted. (C) The cannulated screw was pulled out as long as the thread of the screw. Contrast media injected. (D) Cement (2-3 ml) was injected into the sacrum in the region of screw thread. The cannulated screw was then inserted.

Table 1. Demographic Data

Case No.	Sex	Age (yr)	Side	BMD (T-score)	BMI (kg/m ²)	Hospital stay (d)	Day of weight-bearing	VAS score		
								Preop	Postop immediately	3 mo later of surgery
1	F	88	Lt.	-4.0	17.18	10	6	9	4	3
2	F	73	Rt.	-2.6	20.95	16	11	8	3	3
3	F	89	Rt.	-4.5	20.00	27	17	7	3	2
4	F	82	Rt.	-4.4	22.22	21	12	8	2	1
5	F	76	Lt.	-4.1	24.44	25	10	9	4	2
6	F	94	Lt.	-3.1	24.19	18	9	9	3	1
7	F	83	Lt.	-2.9	22.50	37	26	9	2	1
8	F	84	Lt.	-2.3	25.70	60	7	8	3	2
9	F	79	Rt.	-3.4	18.22	25	9	7	5	3
10	F	79	Rt.	-5.5	20.45	9	3	8	4	4
11	M	75	Lt.	-3.1	20.68	18	11	9	3	3
12	F	105	Lt.	-4.7	19.17	21	11	8	2	3
13	F	73	Both (Rt.)	-2.8	28.39	4	7	9	5	4
14	F	73	Both (Lt.)	-2.8	28.39	4	7	9	4	3
15	F	89	Rt.	-3.5	18.90	10	7	8	2	2
16	F	81	Both (Rt.)	-3.4	18.66	29	11	7	4	3
17	F	81	Both (Lt.)	-3.4	18.66	29	11	8	3	3
18	F	70	Both (Rt.)	-2.9	23.73	10	7	8	2	3
19	F	70	Both (Lt.)	-2.9	23.73	10	7	9	5	4
20	F	78	Both (Rt.)	-4.1	15.48	19	11	8	3	2
21	F	78	Both (Lt.)	-4.1	15.48	19	11	9	4	3
22	F	79	Rt.	-3.6	27.26	24	13	7	3	3
23	F	79	Rt.	-5.1	17.03	26	14	9	2	2
24	F	72	Lt.	-2.8	25.39	19	9	9	3	3
25	F	82	Lt.	-2.5	22.93	14	4	8	3	3
26	F	87	Rt.	-3.7	22.64	66	6	9	2	3
27	F	49	Both (Rt.)	-3.7	18.79	41	8	8	3	4
28	F	49	Both (Lt.)	-3.7	18.79	41	8	8	4	2
29	F	57	Rt.	-3.3	27.34	36	10	9	2	2
30	F	78	Rt.	-3.9	19.92	33	9	8	3	2

F: female, M: male, Lt.: left, Rt.: right, BMD: bone mineral density, BMI: body mass index, VAS: visual analogue scale, Preop: preoperative, Postop: postoperative.

추공 부위), zone III (중심 척추관 부위)의 수직, 사선형, U 또는 H형태의 골절을 대상으로 하였고, 골밀도 검사상 T-score로 -2.5 이하 및 나사 고정으로부터 최소 6개월 이상 추시가 가능하였던 환자를 대상으로 하였다.

평균 연령은 77세(49-105세)였으며 남자가 1예, 여자가 29예였다. 골밀도 검사는 T-score로 평균 -3.54 (-5.5 to -2.5)였으며 체질량지수는 평균 21.57 kg/m² (15.48-28.39 kg/m²)였다.

2. 수술 방법 및 수술 후 처치

수술은 전신 마취 혹은 척추 마취하에 환자를 방사선 투과 수술대 위에 양외위로 눕힌 상태로 골반 부위를 3-4 cm 높인 후 시행하였다. 골반 측후방을 통해 방사선 투시 영상하에 유도강선을 삽입한 후 6.5 mm 유관 나사를 골절 부위로 삽입하였다. 나사선(thread)만큼 빼낸 후 유도강선을 제거하고 유관 나사 내부를 통해 도관을 삽입한다. 도관을 통해 조영제를 투여하여 방사선 투시 검사상 조영제가 척추관과 신

경공에 들어가지 않음을 확인한 후 도관을 통해 나사선이 삽입되었던 위치로 2-3 ml의 시멘트를 천천히 주입한다. 시멘트 삽입 후 약 3-5분을 기다려 고점도 상태에 도달하였을 때 6.5 mm의 유관 나사를 다시 진입하여 내고정을 시행한다 (Fig. 2).

수술 후 통증 정도에 따라 체중 부하를 시행하였는데, 수술 후 침상안정 상태에서 통증이 감소하면 휠체어를 이용한 재활은 시작하였으며, 단순 방사선 검사에서 나사 이완이 없고 이학적 검사상 통증이 완화되면 보행을 시행하였다.

3. 임상적 및 방사선적 평가

임상적 평가로 재원 기간, 체중 부하 시기, 시각 통증 점수 (visual analogue scale, VAS)를 조사하였다. VAS는 수술 전, 수술 직후, 수술 6개월 후 환자의 설문지 및 대면 조사로 환자의 임상 경과를 조사하여 분석하였다.

방사선학적으로 수술 후 골반 전후면 사진, 방사선 조사 각도를 달리한 입구(inlet) 및 출구(outlet) 사진을 시행하였고, 이를 이용하여 골유합 여부를 평가하였다. 수술 직후 시행한 단순 방사선 검사에서 척추관과 신경궁으로의 시멘트 누출을 확인하였고, 추시 단순 방사선 검사를 통하여 나사의 풀림 여부를 평가하였다. 골유합의 평가 주기는 술 후 1개월, 2개월, 3개월, 6개월의 추시 단순 방사선(전후면, 입구, 출구)에서 4개 피질골 중 3면에서 피질골 사이를 연결하는 가골이 완성되고 이학적 검사상 골절부의 압통이 없는 시기로 정의하였다. 6개월에서도 골유합이 불확실할 경우에는 컴퓨터 단층촬영을 통해 피질골의 연결 여부로 골유합을 평가하였다. 나사의 풀림은 수술 직후 시행한 단순 방사선 검사와 비교하였을 때 6개월 이내에 3 mm 이상 빠진(pull-out) 경우로 정의하였다.

통계 분석은 PASW Statistics (ver. 18.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였고, 분석 방법은 Pearson's chi-square test, t-test를 사용하였으며 유의성은 p값이 0.05 이하인 경우로 정의하였다. 본 연구는 광주기독병원의 의학연구윤리심의위원회(KCH-D-2019-03-002)의 승인을 받아 진행되었다.

결 과

시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정을 시행한 30예 중에서 30예(100%)에서 완전한 골유합이 이루어졌으며 평균 골유합 기간은 15주(12-23주)였다(Fig. 3). 재원 기간은 평균 24일(4-66일), 체중 부하 시작 시기는 평균 9일(4-26일)이었다. VAS 점수는 수술 전(8.3)과 비교하였을 때 수술 직후(3.16)와 수술 후 3개월(2.63)에 통계적으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$).

합병증으로 수술 직후 시행한 단순 방사선 사진에서 시멘트 누출은 관찰되지 않았고 신경학적 증상도 관찰되지 않았다. 추시 단순 방사선 검사에서 수술 직후 시행한 방사선 검사와 비교하여 2예(6.7%)의 나사 풀림이 확인되었으나 나사 풀림이 더 이상 진행되지 않았고 추가적인 수술적 처치 없이 20주 및 22주에서 각각 골유합이 되었다(Fig. 4). 나사 풀림은 나이($p = 0.843$), 골밀도($p = 0.969$), 체질량지수($p = 0.948$) 및 보행 시작 시기($p = 0.855$)와 통계적 연관성은 없었다.

고 찰

대부분 고령의 골다공증성 천골 골절에서 장기간의 침상안정과 약물, 물리치료 등의 보존적 치료 방법이 시행되고 있다.⁷⁾ 보존적 치료는 장기간의 입원 치료로 인해 경제적으로

Fig. 2. A 78-year-old female patient had a sacral fracture without trauma. Her bone mineral density was -3.9 . (A) Right sacral fracture was diagnosed by magnetic resonance imaging. (B) Percutaneous screw fixation was performed. (C) There is a pull-out screw within four days after surgery. (D) Re-operation was performed with cement augmentation. Bone union was achieved within six months of surgery.

Fig. 3. (A-C) A 70-year-old female patient was diagnosed with osteoporotic sacral fracture by simple radiography, computed tomography, and bone scan. (D) There is no cement-leakage on postoperative radiography. (E, F) Bone-union was achieved within six months of surgery. There was no screw-exchange six months and one year after surgery.

Fig. 4. (A) Percutaneous screw fixation with cement augmentation was conducted on an 81-year-old female patient. There is a pull-out screw one month after surgery. (B) Percutaneous screw fixation with cement augmentation was conducted on a 78-year-old female patient. There is a pull-out screw after 12 days of surgery.

도 손실이 커질 수 있고, 침상안정은 폐렴, 심부정맥 혈전증, 심장 질환 등 합병증의 위험성을 증가시킬 뿐만 아니라¹⁾ 근위축, 욕창이 발생하고, 치료 후에도 재활에 어려움을 겪을 수 있다. 보존적 치료 기간은 보통 6-8개월이고 치료 후에는 보행을 위한 재활이 필요한데, Taillandier 등⁸⁾은 고령의 골다공증성 천골 골절 환자 60명을 대상으로 보존적 치료를 시행하였을 때 평균 재원 기간이 45일이었고, 퇴원 시에 50%에서 골절의 완전한 회복이 되지 않았으며, 25%에서 주변의 도움 없이는 독립적인 일상 생활이 불가능한 것으로 보고하였다. 본 연구에서 시멘트 보강을 이용한 경피적 나사 고정을 시행한 환자의 평균 재원 기간이 24일, 평균 체중 부하 시기는 9일로 보존적 치료에 비하여 평균 재원 기간 및 평균 치료 기간이 단축되었다. 대부분 환자들은 일주일 이내로 퇴원이 가능하

였으나, 일부 고령의 환자들은 낙상 등으로 인한 추가적인 합병증이 우려되어 보행 등 재활 치료를 위해 2주 이상 입원이 필요하였다.

최근 들어 골다공증성 천골 골절에서 경피적 천골 성형술이 치료에 많이 이용되고 있다.⁹⁾ 그러나 Richards 등¹⁰⁾은 천골성형술이 시멘트의 위치와 부피 등에도 불구하고 생체역학적으로 천골의 강도와 강성도는 회복시키지 않는다고 보고하였다. 또한 경피적 천골 성형술 후 발생할 수 있는 합병증으로 추간공과 경막외강으로 시멘트 누출이 있으며, 이 경우에는 신경학적 증상을 유발할 수 있다.¹¹⁾ 신경학적 합병증이 발생한 경우에는 유출된 시멘트의 제거 및 신경의 감압 등의 수술적 치료가 필요할 수 있다.¹²⁾ Bastian 등¹³⁾은 63명의 천골성형술 환자를 대상으로 32%의 시멘트 누출이 발생하였고, 대부

분이 골절 부위로 누출되었다. 본 연구에서는 시멘트를 직접적으로 고정하는 것이 아니라 소량의 시멘트를 나사에 보강하는 방법이므로 시멘트 누출은 관찰되지 않았고, Wähnert 등¹⁴⁾의 연구에서도 12명의 천골 부전 골절을 대상으로 시멘트 보강의 경피적 천장 나사 고정에서 시멘트 누출은 관찰되지 않았다고 보고하였다.

경피적 천장 나사 고정은 생체 역학적으로 안정화된 천골 골절의 치료 방법 중 하나로,¹⁵⁾ 일차적으로 골절 부위를 안정화하여 급성기 통증을 완화시키고 조기 보행을 가능하게 한다.¹⁶⁾ Tsiridis 등¹⁵⁾은 천골 부전 골절에서 3명의 환자를 대상으로 경피적 천장 나사 고정을 시행하였고, 평균 18개월 추시 결과 즉각적인 통증 완화와 부작용 없는 재활 등의 좋은 결과를 얻었다고 보고하였다. 그러나 Kim 등¹⁷⁾은 불안정성 골반 골절 환자 110명을 대상으로 경피적 천장 나사 고정을 시행하였을 때 19명(17.3%)에서 나사이완을 보고하였다.

특히 골다공증성 골절 환자는 골질이 불량하기 때문에 견고한 내고정이 어려울 수 있다.^{18,19)} 이전 연구들에서는 골다공증이 있는 골절 환자에서 두 개 이상의 나사를 이용한 내고정 및 경장골-경천골을 통한 내고정 등의 방법이 소개되고 있지만,²⁰⁾ 이 방법만으로는 고령의 골다공증성 천골 골절에서 충분한 고정이 힘들고 전단력에 의한 변형에 취약할 수 있다.

골다공증성 골절에서 시멘트의 주입은 나사의 고정력을 향상시킴으로써 추가적인 안정성을 제공한다는 것이 이미 여러 연구에서 입증되었다. Kueny 등²¹⁾은 골다공증성 척추체에 대한 고정력을 비교한 연구에서, 나사 고정만 한 경우에 비해 추가로 시멘트를 보강한 경우 고정력이 약 20% 증가되었다고 보고하였다. Burval 등²²⁾은 시멘트 보강을 이용한 경추의 척추경 나사 고정이 골다공증이 있는 환자에서 초기 고정력과 피로 강도(fatigue strength)를 향상시킨다고 보고하였다. 또한 Park 등²³⁾은 골다공증이 있는 고령의 대퇴골 전자간 골절에서 시멘트 보강을 이용한 압박고나사 고정이 나사 고정 실패 및 불유합 등의 합병증 발생률을 줄일 수 있다고 보고하였다. 대퇴골 전자간 골절이나 척추체 고정에서의 사용되는 시멘트처럼 골다공증성 천골 골절에서도 유관 나사를 이용한 내고정 시에 시멘트 보강을 이용하면 충분히 강한 고정을 얻을 수 있으리라고 생각한다. König 등²⁴⁾은 20명의 골다공증성 골절을 가진 후방 골반환 손상 환자에서 시멘트 보강을 이용한 나사 고정을 시행하였는데, 모든 환자에서 즉각적인 통증 감소 및 조기 보행이 가능했고 1명에서 나사의 이동이 관찰되었으며 2명에서 천장골 관절염이 관찰되어 기구 제

거를 시행하였다고 보고하였다.

시멘트 보강을 이용한 경피적 나사 고정은 안전하게 사용할 수 있는 수술법이다. 시멘트를 주입하기 전에 먼저 방사선 추시 영상을 통해 조영제를 넣은 후 추간공, 경막외강 및 혈관 등으로 들어가지 않은 것을 확인할 수 있고, 나사선이 삽입되었던 위치로 시멘트를 천천히 주입하면서 시멘트가 누출되지 않는 것을 확인할 수 있다.

시멘트 보강을 이용한 경피적 나사 고정의 경우에서도 2예(6.7%)의 나사 풀림이 관찰되었는데, 통계적으로 분석한 결과 골밀도, 나이, 체질량지수와 나사 풀림의 연관성은 없었다. 후향적으로 수술 직후 단순 방사선 검사를 평가해본 결과, 나사 풀림이 있는 환자에서는 1 ml의 시멘트가 주입되어 충분치 않은 것이 확인되었다. 초기에 시멘트 누출 등의 위험성으로 인해 시멘트의 양을 소량(1-2 ml)으로 주입하는 경우가 많았고, 확인한 후에는 이후 수술 시 2-3 ml의 시멘트를 주입하였다. 이후 시행한 수술에서 나사의 풀림은 관찰되지 않았다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 후향적 연구로 추시 기간이 짧아 장기적으로 발생할 수 있는 합병증 및 예후에 대해서 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 연구 대상의 수가 적어서 결과를 일반화하기에는 한계가 있고 향후 더 많은 수술 증례를 추가하여 보완이 필요할 것으로 생각된다. 셋째, 다른 수술 방법과의 비교 연구가 없어 추후 보존적 치료와 다른 술식과의 전향적 비교 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

결론적으로 골다공증성 천골 골절 환자에서 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정은 통증 완화, 조기 보행 및 높은 골유합률에서 만족할 만한 결과를 보였다. 여전히 보존적 치료가 주로 이루어지고 있지만 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 내고정이 골다공증성 천골 골절에서 하나의 치료 방법으로 고려될 수 있을 것으로 생각된다.

요약

목적: 골다공증성 천골 골절의 유병률이 증가하고 있는데, 치료로는 비수술적 치료를 주로 시행하였다. 보존적 치료는 욕창, 폐색전증 등의 위험성을 증가시킬 수 있어 저자들은 골다공증성 천골 골절에서 시멘트 보강을 이용한 천장 나사 고정이 적절한 치료 방법이 될 수 있는지 알아보려고 하였다.

대상 및 방법: 2012년 7월부터 2018년 12월까지 골다공증성 천골 골절에서 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정을 시행 받은 25명의 환자(30예)를 대상으로 하였으며, 최소 추시 기간은 6개월이었다. 임상적 평가는 수술 전후 통증 변화 및 재원 기간, 체중 부하 시작 시기를 조사하였고, 방사선 학적으로는 골유합과 나사 풀림, 척추관 및 신경공으로의 시멘트 누출을 평가하였다.

결과: 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정을 시행한 30예에서 30예(100%)의 골유합이 이루어졌으며, 평균 골유합 기간은 15주(12-23주)였다. 평균 재원 기간은 24일(4-66일)이었으며, 체중 부하는 평균 9일(4-26일)이 걸렸다. 통증은 수술 전(8.3)과 비교하였을 때 수술 직후(3.16)와 수술 3개월 후(2.63) 통계적으로 유의하게 감소하였다($p<0.05$). 시멘트 누출과 신경학적 합병증은 발생하지 않았다. 2예(6.7%)에서 나사 풀림이 확인되었으나 추가적인 수술 없이 골유합이 확인되었다.

결론: 골다공증성 천골 골절 환자에서 시멘트 보강을 이용한 경피적 천장 나사 고정은 통증 완화, 조기 보행 및 높은 골유합률에 만족할 만한 결과를 보였기에 하나의 치료 방법으로 고려될 수 있을 것으로 생각된다.

색인 단어: 골다공증성 골절, 천골, 내고정, 골시멘트

ORCID

김철환, <https://orcid.org/0000-0003-0189-3798>

정영률, <https://orcid.org/0000-0002-4959-1230>

심승우, <https://orcid.org/0000-0001-6974-7151>

백성년, <https://orcid.org/0000-0002-6211-4527>

김충영, <https://orcid.org/0000-0001-7913-4383>

References

1. Heo DH, Park CK: Percutaneous sacroplasty for non-neoplastic osteoporotic sacral insufficiency fractures. *Pain Physician*, 20: 89-94, 2017.
2. Sanders D, Fox J, Starr A, Sathy A, Chao J: Transsacral-transiliac screw stabilization: effective for recalcitrant pain due to sacral insufficiency fracture. *J Orthop Trauma*, 30: 469-473, 2016.
3. Gotis-Graham I, McGuigan L, Diamond T, et al: Sacral insufficiency fractures in the elderly. *J Bone Joint Surg Br*, 76: 882-886, 1994.
4. Lim CH, Chung YY, Heo JY, et al: Percutaneous Iliosacral screw fixation with cement augmentation in sacral insufficient fracture—a case report—. *Hip Pelvis*, 25: 306-310, 2013.
5. Collinge CA, Crist BD: Combined percutaneous Iliosacral screw fixation with sacroplasty using resorbable calcium phosphate cement for osteoporotic pelvic fractures requiring surgery. *J Orthop Trauma*, 30: e217-e222, 2016.
6. Ries T: Detection of osteoporotic sacral fractures with radionuclides. *Radiology*, 146: 783-785, 1983.
7. Wild A, Jaeger M, Haak H, Mehdian SH: Sacral insufficiency fracture, an unsuspected cause of low-back pain in elderly women. *Arch Orthop Trauma Surg*, 122: 58-60, 2002.
8. Taillandier J, Langue F, Alemanni M, Taillandier-Herich E: Mortality and functional outcomes of pelvic insufficiency fractures in older patients. *Joint Bone Spine*, 70: 287-289, 2003.
9. Garant M: Sacroplasty: a new treatment for sacral insufficiency fracture. *J Vasc Interv Radiol*, 13: 1265-1267, 2002.
10. Richards AM, Mears SC, Knight TA, Dinah AF, Belkoff SM: Biomechanical analysis of sacroplasty: does volume or location of cement matter? *AJNR Am J Neuroradiol*, 30: 315-317, 2009.
11. Bayley E, Srinivas S, Boszczyk BM: Clinical outcomes of sacroplasty in sacral insufficiency fractures: a review of the literature. *Eur Spine J*, 18: 1266-1271, 2009.
12. Gupta AC, Chandra RV, Yoo AJ, et al: Safety and effectiveness of sacroplasty: a large single-center experience. *AJNR Am J Neuroradiol*, 35: 2202-2206, 2014.
13. Bastian JD, Keel MJ, Heini PF, Seidel U, Benneker LM: Complications related to cement leakage in sacroplasty. *Acta Orthop Belg*, 78: 100-105, 2012.
14. Wähnert D, Raschke MJ, Fuchs T: Cement augmentation of the navigated iliosacral screw in the treatment of insufficiency fractures of the sacrum: a new method using modified implants. *Int Orthop*, 37: 1147-1150, 2013.
15. Tziridis E, Upadhyay N, Gamie Z, Giannoudis PV: Percutaneous screw fixation for sacral insufficiency fractures: a review of three cases. *J Bone Joint Surg Br*, 89: 1650-1653, 2007.
16. Routt ML Jr, Simonian PT, Mills WJ: Iliosacral screw fixation: early complications of the percutaneous technique. *J Orthop Trauma*, 11: 584-589, 1997.
17. 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.
18. Tjardes T, Paffrath T, Baethis H, et al: Computer assisted percutaneous placement of augmented iliosacral screws: a reasonable alternative to sacroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*, 33: 1497-1500, 2008.
19. Carlson GD, Abitbol JJ, Anderson DR, et al: Screw fixation in the human sacrum. An in vitro study of the biomechanics of fixation. *Spine (Phila Pa 1976)*, 17: S196-S203, 1992.
20. Papanastassiou ID, Setzer M, Eleraky M, et al: Minimally invasive sacroiliac fixation in oncologic patients with sacral insufficiency fractures using a fluoroscopy-based navigation system. *J*

- Spinal Disord Tech, 24: 76–82, 2011.
21. Kueny RA, Kolb JP, Lehmann W, Püschel K, Morlock MM, Huber G: Influence of the screw augmentation technique and a diameter increase on pedicle screw fixation in the osteoporotic spine: pullout versus fatigue testing. *Eur Spine J*, 23: 2196–2202, 2014.
 22. 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)*, 32: 1077–1083, 2007.
 23. Park MS, Suh DJ, Park JH: The effects of cement augmentation in the iintertrochanteric fracture of the femur treated with sliding hip screw device for senile osteoporotic patients. *J Korean Hip Soc*, 16: 428–434, 2004.
 24. König MA, Hediger S, Schmitt JW, Jentzsch T, Sprengel K, Werner CML: In-screw cement augmentation for iliosacral screw fixation in posterior ring pathologies with insufficient bone stock. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 44: 203–210, 2018.