

경피적 척추성형술 후 추가 골절발생의 임상적 분석

계명대학교 의과대학 신경외과학교실

김인수

Clinical Analysis of Subsequent Vertebral Fracture after Percutaneous Vertebroplasty

Insoo Kim, M.D.

*Department of Neurosurgery, Keimyung University School of Medicine,
Daegu, Korea*

Abstract

Objective: This study aims to investigate the incidence and risk factors of subsequent vertebral fracture after percutaneous vertebroplasty (PV) with polymethylmethacrylate (PMMA) in patients with osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF). **Methods:** This study retrospectively reviewed 188 patients (148 women and 40 men) who underwent PV for the treatment of OVCF at a single institute between March 2005 and January 2011. Patients who returned with new fracture after initial successful PV were evaluated by repeat MR imaging. This study analyzed the incidence and risk factors of subsequent vertebral fracture, including BMI, Bone mineral density(BMD), presence of diabetes, smoking, use of bisphosphonates, cement volume, cement leakage into the disc. Data were also analyzed according to level of fracture, adjacent fracture or non-adjacent fracture, and we compared the risk factors. **Results:** Among 188 patients treated with PV, 32 patients (17%) experienced newly developed vertebral fractures during the follow-up period (28.84 ± 11.92 months on the average). 32 subsequent vertebral fractures were 17 adjacent level vertebral fractures and 15 non-adjacent level vertebral fractures. Subsequent vertebral fractures at the lumbar level (53.1%) were more frequent than those at thoracic level (46.9%). Smoking, diabetes mellitus, amount of PMMA, and bisphosphonate use did not correlate with the risk of subsequent fracture. BMD, BMI and intradiscal leakage of PMMA were the significant

교신저자: 김인수, 700-712 대구광역시 중구 달성로 56, 계명대학교 의과대학 신경외과학교실

Insoo Kim, M.D., Department of Neurosurgery, Keimyung University School of Medicine

56 Dalseong-ro, Jung-gu, Daegu 700-712, Korea

Tel : +82-53-250-7203 E. mail : neurokim@dsmc.or.kr

risk factors. **Conclusion:** The subsequent vertebral fracture should be considered before PVA with PMMA. The cement leakage into the disc, low BMI and low BMD could increase the risk of subsequent fracture.

Key Words : Compression fracture, Osteoporosis, Vertebroplasty

서론

최근 인구의 고령화는 노인 질환의 증가를 초래하고 있으며, 노인 질환 중 골다공증은 상당히 많은 문제가 되고 있는 질환으로 그 숫자가 급증하고 있다.

골다공증은 체내 여러 곳에서 골절을 유발시키는데 이들 중 척추골절의 발생빈도가 가장 높아 특히 노인 환자에서 연령에 따른 골밀도의 감소는 골다공증성 척추골절의 위험을 더욱 크게 한다. 이들 노인 환자에서 척추골절은 통증뿐만 아니라, 장기간의 침상 안정상태와 만성 통증에 따른 이차적인 합병증을 초래하기도 하여 적극적인 치료가 필요하다[1].

그러나 골다공증성 척추 압박 골절 환자는 전신상태가 불량한 고령의 노인이 대부분이며, 골다공증으로 인해 약해진 척추체에 대한 복원술, 금속고정술과 같은 광범위하고 장시간의 전신마취의 수술법을 적용하기에는 한계가 있어 장기간의 침상안정 외에는 뚜렷한 치료법의 제시가 없는 상황이었다.

1987년 척추 혈관종의 치료 방법으로 경피적 척추성형술이 처음 보고된 이후로[2], Polymethylmethacrylate (PMMA)를 이용한 척추성형술은 골다공증성 척추 압박골절의 치료방법으로 많이 사용되어왔다.

경피적 척추성형술은 최소 침습적 시술법으로서 골시멘트 등 생체적합물질을 경피적으로 병적 골절부위에 주입함으로써 골절부를 안정시키고, 골절에 의한 통증을 감소시킬 뿐 아니라 기능적 향상을 골절 후 조기에 얻을 수 있으며, 특히 척추압박골절로 인한 통증 감소에 대한 다양한 연구가 보고되었다[3-6].

이 시술의 시행 초기에는 통증의 감소, 척추 추체의

복원과 적은 합병증 등의 좋은 결과들이 많이 보고되었다[7,8]. 그러나 생체역학적 연구들에서 증강된 추체의 stiffness의 증가와 인접 추체에 대한 부하 장애(load failure)가 증가하는 경우가 관찰되었으며, 척추성형술과 풍선척추성형술 후 추가골절이 있는 경우가 3% ~ 52% 정도에 이른다는 보고들이 있었다[9,10].

최근 척추성형술 후 발생한 추가 골절에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 특히 추간판 내로의 골 시멘트 누출이나 체질량 지수(Body Mass Index)와 같은 추가 골절과 연관된 위험인자들에 대한 연구가 있으나, 보고된 발생률의 편차가 심하고 위험인자가 확실하게 밝혀진 것은 아니다[11,12].

이에 본 연구는 척추성형술과 풍선 척추성형술과 같은 척추증강술 후 발생한 추가 골절에 대한 위험인자와 발생률을 확인 분석하여 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다.

대상 및 방법

2005년 3월부터 2011년 1월 사이에 골다공증성 척추 압박골절로 경피적 척추 성형술을 시행 받은 188명을 대상으로 하였다. 경피적 척추성형술의 적응증은 2주 이상의 적극적인 보존적 치료에도 불구하고 지속되는 심한 통증을 호소하는 환자를 대상으로 하였다. 수술 전 자기 공명 영상검사를 시행하여 최근 압박골절이 확인된 환자 중 감염이나 종양에 의한 병적 압박골절 환자를 제외한 골다공증성 척추 압박골절로 확진된 경우만을 대상으로 하였다. 모든 환자에서 시술 전 골밀도 검사(Bone Mineral

Density)를 시행하여 골다공증성 압박골절을 확인하였고 체질량 지수를 측정하였다. 그리고 방사선학적인 검사와 임상적인 추적관찰이 최소한 12개월 이상 가능하였던 환자를 대상으로 하였다. 환자는 두 군으로 나누었으며, I군은 척추 성형술 후 추적관찰기간 동안 척추의 추가 골절이 없었던 156명의 환자, II군은 척추의 추가 골절이 있었던 32명의 환자를 대상으로 하였다. II군은 다시 인접부위 골절과 비 인접부위 골절로 나누어 조사를 하였다.

척추성형술의 시술 방법은 전 예에서 수술실에서 실시하였으며 환자를 X-선 투시가 가능한 수술대 위에 엎드린 상태로 위치시켰다. 시술할 척추체의 이차원적 영상을 얻기 위하여 C-arm 방사선 투시기를 사용하였다. 시술 직전 Demerol 25 mg을 정맥 내 주입한 후 시술 중 혈압, 맥박, 혈중 산소 농도 및 심전도를 지속적으로 감시하였으며 카테터나 마스크를 사용하여 산소를 공급하였다. 모든 시술은 무균적 상태에서 시행하였다. 척추의 전후 상이 보이는 상태에서 병변 척추체의 양측 척추경을 확인한 후 11번 수술칼로 약 5 mm의 자상을 만들고 11G의 Jamshidi 바늘을 척추경 직상부를 향하여 삽입한다. 이때 척추의 측면상을 관찰하여 바늘의 끝이 척추경을 관통하여 추체 내에 도달할 수 있을 것인지 확인한 후 바늘의 끝이 척추골피질을 관통하도록 하였다. 이후 척추의 측면상을 수시로 관찰하여 바늘이 척추경을 정확히 관통하여 진행되는 것과 이때 바늘과 피부의 각도가 시술되는 척추체에 따라 시상면에 5 내지 10° 각도를 유지하도록 지속적으로 확인하고 바늘의 끝이 추체의 전방 1/3 혹은 1/2에 위치하도록 시도하였다.

이와 같이 바늘 끝의 위치를 재확인한 후 방사선 조영제가 포함된 PMMA (Surgical Simplex P, Howmedica International Inc., Clare, Irend) 분말을 용매와 섞어 반죽을 만들었다. 이때 반죽의 점성은 치약보다 약간 연한 정도로서 총량 5 내지 7 cc를 만들어 10 cc 일회용 주사기에 넣은 후 X-선 모니터로 관찰하며 바늘을 통하여 척추 내에 도수로 주입하였다. 이때 주입되는 물질이 대정맥이나 척추관 내 그리고 추간관 내로 유입되는 지를 주의 깊게 관찰하여야 하며, 만일 척추체 바깥으로 누출될 경우에는 시술을 중단하였다. 반대측 척추경을 통하여 똑같은 방법으로

PMMA를 주입하였으며, 양측 척추경을 통하여 3 내지 9 cc의 PMMA를 주입한 후 바늘 삽입구를 봉합하고 시술을 종료하였다.

추가 골절은 척추성형술을 시행한 후 외래 방문을 통한 추적관찰기간 동안 흉추 또는 요추 부위의 통증이 새로 발생한 경우, 방사선검사와 자기공명영상 검사를 시행하여 인접 또는 비 인접분절의 신생 척추압박골절 유무를 확인하였다.

인접 분절의 신생 골절의 정의는 척추성형술을 시행한 바로 인접 분절의 골절만으로 하였고, 골 시멘트누출로 인한 신생 인접 분절의 골절은 추간판으로의 골 시멘트 누출이 있던 방향의 바로 인접 분절의 골절만으로 하였으며, 한 분절을 건너서 골절이 발생하거나 골 시멘트 누출 방향과 다른 부위에서 발생한 골절은 비 인접 분절 골절로 분류하였다.

척추성형술 후 발생한 신생 골절과 연관된 위험인자를 찾기 위해 성별, 나이, 골밀도 검사, 키, 체중, 체질량 지수, PMMA 주사량, 골다공증약 복용 유무, 흡연, 당뇨, 추간판으로의 골 시멘트누출 유무 등을 환자의 임상기록과 영상검사를 통해 후향적 분석 검토하였다. 통계적 분석을 위해 SPSS (Statistical Package for Social Sciences, version 18.0)를 이용하였다. 인접분절에서 신생골절이 발생한 군과 발생하지 않은 군 사이의 환자의 나이와 골밀도 검사, 키, 체중, 체질량 지수, PMMA 주사량은 Independent t-test로 하였고, 성별, 흡연 유무, 당뇨, 골다공증약 복용 유무, 그리고 인접분절에서 신생골절 발생과 추간판으로의 골시멘트 누출 유무와의 연관성 관계는 Chi-square를 시행하였다. $p < 0.05$ 를 통계적 의미가 있는 것으로 하였다.

결 과

경피적 척추성형술을 시행한 188명의 환자는 남자가 40명, 여자가 148명이었고 평균 나이는 72세 (49~87세), 평균 추적관찰 기간은 29개월 (12~64개월) 이었다

이들 중 척추 성형술 후 추적관찰기간 동안 척추의 추가골절이 없었던 환자군(I군)은 156명(83.0%),

척추의 추가 골절이 있었던 환자군(II군)은 32명(17.0%)이었다. I군과 II군의 환자들의 평균나이는 각각 70.87 ± 8.77 그리고 72.59 ± 7.40 이었다. 골절된 분절은 두 군에서 요추가 흉추보다 많았으며, 평균 추적 관찰기간은 I군과 II군에서 각각 28.60 ± 12.75 과 28.84 ± 11.92 로 두 군간에 통계적 의의는 없었다. 그러나 흉요추 이행부위인 제11번 흉추부터 제2번 요추까지의 골절은 I군에서 통계적 의의가 있게 많았다(Table 1).

신생 추가 골절이 있었던 32례에서 인접 추체골절은 흉요추부에서, 비 인접 추체골절은 요추에서 많은 것으로 확인되었다(Table 2).

경피적 척추성형술 후 추가 신생압박골절의 발생까지 걸린 평균기간은 10.53 ± 5.44 (범위

3~25개월)개월이었다.

체질량 지수는 I군과 II군에서 각각 22.16 ± 3.06 과 20.17 ± 3.43 으로 I군보다 II군에서 낮았으며, 통계적으로 의의가 있었다($p=0.001$). 골밀도 검사에서 T-score는 I군과 II군에서 각각 -3.03 ± 0.83 과 -3.73 ± 1.18 로 II군이 I군보다 낮았으며, 통계적으로 의의가 있었다($p=0.003$).

흡연과 당뇨의 과거력 유무, 골다공증 복용 유무 등과 같은 위험인자를 고려한 각 군간의 비교에서 통계적 의의는 없었다.

경피적 척추성형술과 관련된 인자 들에서 평균 PMMA 주사량은 I군과 II군에서 각각 6.21 ± 1.93 과 5.87 ± 1.95 로 I군이 II군보다 많은 양을 주입하였으나, 통계적 의의는 없었다. 추간판으로의 골 시멘트 누출은

Table 1. Demographic data of patients with vertebroplasty

	G I	G II	p Value
Total number of patients	156(83.0%)	32(17.0%)	
Female/male	123/33	25/7	0.928
Age (year) $\pm$ SD	70.87 ± 8.77	72.59 ± 7.40	0.299
Level of fractured vertebrae			
Thoracic	71(45.5%)	15(46.9%)	0.888
Thoracolumbar (T11-L2)	98(62.8%)	14(43.8%)	0.045
Lumbar	85(54.5%)	17(53.1%)	0.888
Follow-up duration (month)	28.60 ± 12.75	28.84 ± 11.92	0.922

Group I : patients without subsequent fracture; Group II : patients with subsequent fracture.

Table 2. Fracture distribution by location in subsequent fractures

	Subsequent fracture	Adjacent fracture	Non-adjacent fracture
Number of fractured vertebrae	32	17(17/32, 53.1%)	15(15/32, 46.9%)
Thoracic	15(46.9%)	11(64.7%)	4(26.7%)
Lumbar	17(53.1%)	6(35.3%)	11(73.3%)
Thoracolumbar	14(43.8%)	9(52.9%)	5(33.3%)

I군에서 18명(18/156, 11.5%)이었고, II군에서 19명(19/32, 59.4%)으로 II군에서 통계적 의미가 있게 높았다(Table 3).

경피적 척추성형술 후 추가 발생한 신생압박골절은 32명이었으며, 이들 중 인접부위 골절은 17명, 비인접부위 골절은 15명이었다. 32명의 신생압박골절 중 골 시멘트가 추간관으로 누출된 경우(19명)와 누출되지 않은 경우(13명)를 교차 분석한 결과 추간관으로 골 시멘트가 누출된 경우에 인접부위 골절이 통계적 의미가 있게 더 많이 발생함을 알 수 있었다($p=0.036$)(Table 4).

경피적 척추성형술 후 추가 발생한 신생압박골절환자 중에서 인접부위골절과 비 인접부위골절 그리고 골 시멘트가 추간관으로 누출된 경우에서 비교하였을 때,

통계적 의의가 있는 위험인자는 없었다(Table 5, 6).

고 찰

골다공증성 척추 압박골절의 치료에 PMMA를 이용한 경피적 척추성형술이 소개된 이후, 척추성형술은 보존적 치료에 호전되지 않고 통증이 동반된 골다공증성 척추 골절의 수술적 치료에 가장 효과적인 방법 중의 하나로 알려지며, 광범위하게 시술되고 있다[2,3,8,13,14].

그러나 척추성형술 후 추적관찰 중 새로운 추가 골절이 발생되어 재수술하는 경우를 흔하게 경험하면서, 기왕의 척추성형술과 신생 추가 골절의 연관성에 대해 관심이

Table 3. Comparison of groups by constitution, past history and procedure related factors

	G I	G II	p Value
Body mass index(kg/m ²)±SD	22.16±3.06	20.17±3.43	0.001
BMD(L1-L4)	-3.03±0.83	-3.73±1.18	0.003
Past history			
Smoking	15(15/156, 9.6%)	6(6/32, 18.8%)	0.135
DM	20(20/156, 12.8%)	3(3/32, 9.4%)	0.588
Bisphosphonate use	25(25/156, 16.0%)	2(2/32, 6.3%)	0.151
Amount of PMMA (cc)	6.21±1.93	5.87±1.95	0.370
Number of intradiscal leakage of PMMA	18(18/156, 11.5%)	19(19/32, 59.4%)	0.001

Table 4. New adjacent fractures among patients undergoing vertebroplasty in relationship to cement leakage into disc

	Adjacent fracture	Non-adjacent fracture	Total
Cement leakage	13(40.6%)	6(18.8%)	19(59.4%)
No cement leakage	4(12.5%)	9(28.1%)	13(40.6%)
Total ($p=0.036$)*	17(53.1%)	15(46.9%)	32(100.0%)

*Analyzed using a χ^2 test.

Table 5. Demographics data of whole patients

	Adjacent fracture	Non-adjacent fracture	p-value
of patient	17(53.1%)	15(46.9%)	
Mean age	73.24±6.34	71.87±8.61	0.610
No. of men	4(23.5%)	3(20.0%)	0.810
No. of women	13(76.5%)	12(80.0%)	
Mean body weight	47.94±10.20	48.33±12.55	0.923
Mean body height	152.35±7.81	155.80±10.37	0.293
Mean BMD	-3.93±1.39	-3.51±0.88	0.329
Mean BMI	20.61±3.62	19.67±3.25	0.448
Smoking	4(23.5%)	2(13.3%)	0.461
DM	1(5.9%)	2(13.3%)	0.471
Bisphosphonate use	2(11.8%)	0(0.00%)	0.170

Table 6. Demographics data of patients with cement leakage into disc

	Adjacent fracture	Non-adjacent fracture	p-value
No. of patient	13(68.4%)	6(31.6%)	
Mean age	74.46±5.58	75.33±5.54	0.755
No. of men	3(23.1%)	1(16.7%)	0.750
No. of women	10(76.9%)	5(83.3%)	
Mean body weight	46.69±10.46	45.17±9.47	0.765
Mean body height	153.23±6.70	152.33±5.13	0.776
Mean BMD	-4.22±1.39	-3.63±0.98	0.370
Mean BMI	19.84±3.76	19.34±2.97	0.780
Smoking	3(23.1%)	1(16.7%)	0.750
DM	0(0.0%)	1(16.7%)	0.130
Bisphosphonate use	2(15.4%)	0(0.0%)	0.310

높아지게 되어 추가 골절의 발생률과 위험인자들에 대한 연구들이 최근 보고되고 있다[9-11].

Harrop 등은 풍선척추성형술을 시행한 115명의

환자 중 22.6%에서 추가 골절이 발생하였다고 보고하였으며[15], Jensen 등은 척추성형술을 시행한 26명의 환자 중 7명(26.9%)에서 추가 골절이 발생하였다고

하였다[16].

척추성형술 후 발생한 추가 골절에 대한 여러 연구들에서 12-58% 정도의 추가 골절 발생률이 보고되고 있다[17,18].

본 연구에서의 척추성형술 후 신생 추가 골절의 발생률은 17.0%로 관찰되었다.

이러한 척추성형술 후 신생 추가 골절에 대한 연구에서 PMMA의 주입으로 탄성은 감소되고, 강도는 증가된 추체로 인해 척추 분절간에서 생체역학적 변화가 발생할 수 있다[19].

특히 굴곡 운동 시에 인접 분절의 기계적 부하가 증가될 것으로 예상되는데, 신생 추가 골절이 이러한 변화에 따른 이차적 골절인지 여부에 대해 많은 생체역학적 그리고 임상적인 연구가 시행되어왔다.

Villarraga 등은 사체 연구에서 PMMA를 주입한 추체와 위 아래 인접 추체와의 생체역학적 연구 분석결과 인접 추체에 미치는 영향이 대조군과 비교하여 의미 있는 차이가 없다는 척추성형술 후의 생체역학적 변화에 대한 부정적인 연구결과를 보고하였으나[20], 상당수의 다른 연구들은 PMMA가 주입된 추체의 강도로 인해 인접 분절의 기계적 부하가 증가됨을 보고하고 있다[21-23].

임상 연구들에서도 척추성형술 후 PMMA가 주입된 척추와 신생 추가 골절 사이에 연관성이 있음을 보고하고 있다[17,18].

본 연구에서도, 32례의 신생 추가 골절 중 PMMA가 주입된 추체와 인접한 추체의 골절이 17례(53.1%)로 관찰되어 인접 부위의 신생 골절이 보다 높은 빈도로 발생하는 경향이 있음을 알 수 있었다.

신생 추가 골절의 위험 인자를 찾기 위한 여러 연구들에서, 흉요추 이행부의 골절인 경우, 후만 변형의 교정을 많이 할수록, 체질량 지수가 적을수록, 기존의 압박골절이 존재할 경우, 추간관으로 골 시멘트 누출이 발생한 경우 등에서 신생 골절의 가능성이 높아진다는 보고들이 있었다[24,25].

이 중 추간관으로의 골 시멘트 누출에 관한 연구들에서 추간관으로의 골 시멘트 누출이 인접 추체의 신생 골절의 발생에 의미있는 연관성이 있다는 보고가 있었다[12,26].

그러나 Lin 등의 보고에서는 추간관으로의 골 시멘트 누출과 인접 추체의 신생 골절 사이에 의미

있는 연관성은 없다고 하였다[25].

본 연구의 결과에서 추간관으로의 골 시멘트 누출은 37례(19.7%)에서 발생하였는데 그 중 19례에서 신생 골절이 발생하여 누출이 없었던 18례와 비교하여 의미 있게 높은 결과를 보였다.

비 인접 추체의 신생 골절에 대한 연구에서는, 만일 인접 추체가 이미 강도가 있는 상태라면, 역동적 해머효과에 의해 비인접 추체 골절이 유도될 수 있다는 보고가 있다[11].

본 연구에서도 흉추(26.7%)보다 흉요추부(33.3%)와 요추부(73.3%)에서 비 인접 추체의 신생 골절이 더 많이 발생한 것을 관찰할 수 있었다.

척추성형술 후 발생한 신생 추가 골절과 연관된 위험인자들에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 특히 추간관 내로의 골 시멘트 누출, 체질량 지수, 골밀도, 흉요추 이행부위 등에 대한 비교 연구가 있으나, 보고된 발생률의 편차가 심하고 위험인자가 확실하게 밝혀진 것은 아니다[11,12,24,25].

본 연구에서는 흉요추부, 낮은 체질량 지수, 낮은 골밀도, 추간관 내로의 골 시멘트 누출 등이 척추성형술 후 신생 추가 골절이 발생할 수 있는 의미 있는 위험인자로 분석되었다.

본 연구의 제한점은 척추성형술을 시행한 모든 환자를 전향적으로 임상적, 영상의학적 경과를 체계적인 추적관찰을 통해 비교한 것이 아니라 척추성형술 후 새로운 통증의 발생으로 본원에 다시 내원하여 신생 추가 골절로 진단된 경우와 추적관찰이 가능하였던 188명의 환자를 대상으로 시행한 연구라는 점이다. 그리고 척추성형술 후 지속적인 추적관찰이 불가능한 경우이거나, 신생 추가 골절이 발생하였음에도 본원을 방문하지 않았거나 타 병원에서 치료받았을 가능성 등을 고려하면, 본 연구의 17.0%의 신생 추가 골절 발생빈도는 실제 발생 빈도보다 낮을 것으로 추정된다.

결론

흉요추부의 골절, 낮은 체질량 지수, 낮은 골밀도, 추간관 내로의 골 시멘트 누출 등은 척추성형술 후 신생 추가 골절을 의미 있게 증가시키는 위험인자로

판단된다. 따라서 이러한 위험인자를 지닌 환자에서 척추성형술을 시행하기 전 추가적인 척추성형술의 가능성을 반드시 고려해야 하며, 술 후 초기에 활동 제한 및 보조기 착용, 적절한 영양섭취, 적극적인 골다공증 치료 등으로 추가골절을 예방에 도움이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Lo YP, Chen WJ, Chen LH, Lai PL. New vertebral fracture after vertebroplasty. *J Trauma* 2008;**65**:1439-45.
- Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 1987;**33**:166-8.
- Cortet B, Cotten A, Boutry N, Flipo RM, Duquesnoy B, Chastanet P, *et al.* Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: an open prospective study. *J Rheumatol* 1999;**26**:2222-8.
- Deramond H, Depriester C, Galibert P, Le Gars D. Percutaneous vertebroplasty with polymethyl-methacrylate: technique, indications, and results. *Radiol Clin North Am* 1998;**36**:533-46.
- Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures. *Spine* 2001;**26**:1511-5.
- Zoarski G, Snow P, Olan W, Stallmeyer MJ, Dick BW, Hebel JR, *et al.* Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: quantitative prospective evaluation of long-term outcome. *J Vasc Interv Radiol* 2002;**13**:139-48.
- Heini PF, Wlchli B, Berlemann U. Percutaneous transpedicular vertebroplasty with PMMA: Operative technique and early results. A prospective study for the treatment of osteoporotic compression fractures. *Eur Spine J* 2000;**9**:445-50.
- Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, Bell G. Initial outcome and efficacy of "kyphoplasty" in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2001;**26**:1631-8.
- Berlemann U, Ferguson SJ, Nolte LP, Heini PF. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty. a biomechanical investigation. *J Bone Joint Surg Br* 2002;**84**:748-52.
- Fribourg D, Tang C, Sra P, Delamarter R, Bae H. Incidence of subsequent vertebral fracture after kyphoplasty. *Spine* 2004;**29**:2270-6.
- Ahn Y, Lee JH, Lee HY, Lee SH, Keem SH. Predictive factors for subsequent vertebral fracture after percutaneous vertebroplasty. *J Neurosurg Spine* 2008;**9**:129-36.
- Lin EP, Ekholm S, Hiwatashi A, Westesson PL. Vertebroplasty: cement leakage into the disc increases the risk of new fracture of adjacent vertebral body. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004;**25**:175-80.
- Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, McCann RM : Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. *Spine* 2000;**25**:923-8.
- Coumans JV, Reinhardt MK, Lieberman IH. Kyphoplasty for vertebral compression fractures : 1-year clinical outcomes from a prospective study. *J Neurosurg (Spine 1)* 2003;**99**:44-50.
- Harrop JS, Prpa B, Reinhardt MK, Lieberman I. Primary and secondary osteoporosis' incidence of subsequent vertebral compression fractures after kyphoplasty. *Spine* 2004;**29**:2120-5.
- Jensen ME, Dion JE. Percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic compression fractures. *Neuroimaging Clin N Am* 2000;**10**:547-68.
- Grados F, Depriester C, Cayrolle G, Hardy N, Deramond H, Fardellone P. Long-term observations of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. *Rheumatology (Oxford)* 2000;**39**:1410-4.
- Uppin AA, Hirsch JA, Centenera LV, Pfieffer BA, Pazianos AG, Choi IS. Occurrence of new vertebral

- body fracture after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporosis. *Radiology* 2003;**226**:119-24.
19. Baroud G, Nemes J, Heini P, Steffen T. Load shift of the intervertebral disc after a vertebroplasty: A finite-element study. *Eur Spine J* 2003;**12**:421-6.
 20. Villarraga ML, Bellezza AJ, Harrigan TP, Cripton PA, Kurtz SM, Edidin AA. The biomechanical effects of kyphoplasty on treated and adjacent nontreated vertebral bodies. *J Spinal Disord Tech* 2005;**18**:84-91.
 21. Kayanja MM, Togawa D, Lieberman IH. Biomechanical changes after the augmentation of experimental osteoporotic vertebral compression fractures in the cadaveric thoracic spine. *Spine J* 2005;**5**:55-63.
 22. Lim TH, Brebach GT, Renner SM, Kim WJ, Kim JG, Lee RE, *et al.* Biomechanical evaluation of an injectable calcium phosphate cement for vertebroplasty. *Spine* 2002;**27**:1297-1302.
 23. Tomita S, Kin A, Yazu M, Abe M. Biomechanical evaluation of kyphoplasty and vertebroplasty with calcium phosphate cement in a simulated osteoporotic compression fracture. *J Orthop Sci* 2003;**8**:192-7.
 24. Kim SH, Kang HS, Choi JA, Ahn JM. Risk factors of new compression fractures in adjacent vertebrae after percutaneous vertebroplasty. *Acta Radiol* 2004;**45**:440-5.
 25. Lin WC, Cheng TT, Lee YC, Wang TN, Cheng YF, Lui CC, *et al.* New vertebral osteoporotic compression fractures after percutaneous vertebroplasty: retrospective analysis of risk factors. *J Vasc Interv Radiol* 2008;**19**:225-31.
 26. Chen WJ, Kao YH, Yang SC, Yu SW, Tu YK, Chung KC. Impact of cement leakage into disks on the development of adjacent vertebral compression fractures. *J Spinal Disord Tech* 2010;**23**:35-9.