

doi: 10.3969/j.issn.1009-6469.2020.06.032

◇临床医学◇

单侧弯角椎体成形术治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折 30 例临床疗效

王亚洲, 麻文谦

作者单位: 上海市松江区中心医院骨科, 上海 201600

通信作者: 麻文谦, 男, 主任医师, 研究方向为脊柱外科, E-mail: mawq2000@163.com

摘要: **目的** 探讨单侧弯角椎体成形术(PCVP)治疗胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折(OVCF)的临床疗效。**方法** 回顾分析上海市松江区中心医院2017年1月至2018年6月收治的60例胸腰椎OVCF病人的临床资料,其中应用弯角装置单侧穿刺经皮椎体成形术(PVP)治疗组(PCVP组)30例,常规双侧穿刺PVP治疗组(PVP组)30例。记录两组病人的手术时间、X线曝光次数、术中出血量、骨水泥注入量;术前、术后24 h、术后3个月及末次随访采用疼痛视觉模拟评分(VAS)及Oswestry功能障碍指数(ODI)评价临床疗效,术后复查X片或CT评估骨水泥渗漏等相关并发症,资料进行统计学分析。**结果** PCVP组的手术时间、X线曝光次数、术中出血量、骨水泥注入量均少于常规双侧穿刺PVP组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。两组病人术后疼痛均明显缓解,PCVP组VAS评分术后24 h(2.4 ± 0.8)分、术后3个月(2.3 ± 0.6)分及末次随访(2.4 ± 0.6)分均明显低于术前(7.8 ± 0.6)分($P < 0.05$), ODI术后24 h(18.8 ± 3.8)%、术后3个月(18.6 ± 3.6)%及末次随访(19.0 ± 3.1)%均明显低于术前(39.6 ± 3.3)%($P < 0.05$);常规双侧穿刺PVP组VAS评分术后24 h(2.3 ± 0.5)分、术后3个月(2.3 ± 0.4)分及末次随访(2.4 ± 0.9)分均明显低于术前(8.0 ± 0.5)分($P < 0.05$), ODI术后24 h(19.0 ± 2.7)%、术后3个月(18.9 ± 3.3)%及末次随访(19.1 ± 2.3)%均明显低于术前(40.5 ± 4.2)%($P < 0.05$)。术前、术后24 h、术后3个月及末次随访VAS评分及ODI两组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。骨水泥渗漏PCVP组发生2例,渗漏率6.7%;常规双侧穿刺PVP组发生6例,渗漏率20.0%,两组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** PCVP具有手术时间短、X线曝光次数少、出血少的优势,治疗胸腰椎OVCF可取得理想的临床效果。

关键词: 骨质疏松性骨折; 胸椎; 腰椎; 脊柱骨折; 椎体成形术; 弯角椎体成形

Clinical efficacy of percutaneous curved vertebroplasty in the treatment of thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fracture

WANG Yazhou, MA Wenqian

Author Affiliation: Department of Orthopedics, Shanghai Songjiang District Central Hospital, Shanghai 201600, China

Abstract: **Objective** To evaluate the clinical efficacy of percutaneous curved vertebroplasty in the treatment of thoracic and lumbar osteoporotic vertebral compression fracture (OVCF). **Methods** The clinical data of 60 patients with OVCF in thoracic and lumbar vertebrae who were treated in Shanghai Songjiang District Central Hospital from January 2017 to June 2018 were retrospectively analyzed. Patients were assigned into PCVP group and PVP group, with 30 patients in each group. The surgery duration, X-ray frequency, intraoperative blood loss, and bone cement injection volume were recorded and analyzed. The visual analogue scale scores (VAS) and oswestry disability index (ODI) in preoperative, postoperative 24 h, postoperative 3 months and last follow-up were adopted to value the clinical improvements. The bone cement leakage and other related complications were observed by postoperative X-ray or CT scan. The data were statistically analyzed. **Results** The surgery duration, X-ray frequency, intraoperative blood loss and bone cement injection volume of the PCVP group were less than that of routine bilateral PVP group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). All the patients in the two groups obtained obvious pain relief. In the PCVP group, the average VAS score at 24 hours (2.4 ± 0.8), 3 months after operation (2.3 ± 0.6) and last follow-up (2.4 ± 0.6) were lower than at preoperation (7.8 ± 0.6) ($P < 0.05$), the ODI at 24 hours (18.8 ± 3.8)%, 3 months after operation (18.6 ± 3.6)% and last follow-up (19.0 ± 3.1)% were lower than at preoperation (39.6 ± 3.3)% ($P < 0.05$). In the routine bilateral PVP group, the average VAS score at 24 hours (2.3 ± 0.5), 3 months after operation (2.3 ± 0.4) and last follow-up (2.4 ± 0.9) were lower than at preoperation (8.0 ± 0.5) ($P < 0.05$), the ODI at 24 hours (19.0 ± 2.7)%, 3 months after operation (18.9 ± 3.3)% and last follow-up (19.1 ± 2.3)% were lower than at preoperation (40.5 ± 4.2)% ($P < 0.05$). There was no statistical difference in the average VAS score and ODI among preoperative, 24 hours and 3 months after operation, and last follow-up between the two groups ($P > 0.05$). Bone cement leakage occurred in 2 cases in the

PCVP group with a leakage rate of 6.7%, conventional bilateral puncture in the PVP group had 6 cases with a leakage rate of 20.0%, and there was no statistical difference between two groups ($P > 0.05$). **Conclusion** PCVP could achieve satisfactory clinical outcomes for thoracolumbar OVCF, with advantages of less operation time, less X-ray exposure, and less blood loss.

Key words: Osteoporotic fractures; Thoracic vertebrae; Lumbar vertebrae; Spinal fractures; Vertebroplasty; Percutaneous curved vertebroplasty

随着人口老龄化进程的加剧,骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的发生率日益增加^[1-2]。经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)是治疗 OVCF 的微创技术,具有创伤小、迅速缓解疼痛等优势,目前在临床上已得到广泛应用^[3-4]。国内常规采用直行套管行双侧穿刺 PVP。本研究将单侧弯角椎体成形术(Percutaneous curved vertebroplasty, PCVP)^[5]与常规双侧穿刺 PVP 治疗 OVCF 进行病例对照研究,评估其临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究符合《世界医学协会赫尔辛基宣言》相关要求,病人知情同意且签署知情同意书。本研究共纳入上海市松江区中心医院 2017 年 1 月至 2018 年 6 月收治的单椎体 OVCF 病人 60 例,其中应用弯角装置单侧穿刺 PVP 治疗组(PCVP 组)30 例,男 4 例,女 26 例;年龄(71.6 ± 8.3)岁,范围为 62~84 岁;骨折椎体分布: T_{10} 1 例, T_{11} 5 例, T_{12} 8 例, L_1 9 例, L_2 3 例, L_3 2 例, L_4 2 例。常规双侧穿刺 PVP 治疗组(PVP 组)30 例,男 3 例,女 27 例;年龄(70.9 ± 9.4)岁,范围为 65~83 岁;骨折椎体分布: T_{10} 0 例, T_{11} 6 例, T_{12} 6 例, L_1 8 例, L_2 5 例, L_3 3 例, L_4 2 例。

1.2 纳入及排除标准 纳入标准:①胸腰椎 OVCF 的老年病人(年龄 ≥ 60 岁),单椎体受累。②疼痛症状明显,经 MRI 证实为新鲜骨折后,骨折椎体与疼痛部位符合,影响日常生活。③术前骨密度 T 值 < -2.5 。④随访时间 ≥ 3 个月,相关随访数据和影像学资料完整。

排除标准:①高能量严重椎体爆裂骨折,椎体不稳或伴神经症状。②陈旧性骨折。③病理性骨折。④凝血功能障碍。⑤对骨水泥过敏者。

1.3 弯角椎体成形装置^[5] 弯角椎体成形穿刺针(SV100-3712,宁波华科润生物科技有限公司)及弯角骨水泥填充器套件(SV100-01,宁波华科润生物科技有限公司)组成弯角穿刺椎体成形装置的两部分:镍钛合金弯角穿刺针和骨水泥输送导管(见图 1A)。弯角穿刺针在工作通道时呈压直状态,头端穿出通道后逐渐恢复原始弧度,穿刺针到达椎体对侧,建立骨水泥输送通道。

1.4 手术方法

1.4.1 弯角穿刺 PVP 组 病人取俯卧位,胸前垫软垫。采用 C 臂机透视定位责任椎体,确定椎弓根穿刺进针点并标记,局麻后经单侧椎弓根穿刺,穿刺针尖至椎体后份 1/3 处时停止穿刺,拔出针芯,经穿刺针外套管置入弯角注入器,穿刺至对侧。拔出弯角穿刺针,将骨水泥输送导管通道安装完成。调制骨水泥,骨水泥拔丝状态早期开始注射,边注射边缓慢回撤输送导管,先后完成椎体对侧、中部、穿刺侧的骨水泥填充。骨水泥产热凝固后拔除工作通道,缝合包扎切口,术毕。见图 1。

1.4.2 常规双侧穿刺 PVP 组 经双侧椎弓根进行穿刺,建立工作通道后在两侧注入骨水泥;余同弯角穿刺 PVP 组。

1.5 术后处理 术后 2 h 后可翻身活动,术后第一天佩戴腰托下床活动,并给予抗骨质疏松药物治疗。术后第 1 天摄正侧位 X 片或 CT,评估骨水泥分布。

1.6 评价方法

1.6.1 术中情况 记录手术时间、X 线曝光次数、术中出血量及骨水泥注入量。

1.6.2 疼痛改善 采用疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)评估手术前后病人疼痛改善情况。分别于术前、术后 24 h、术后 3 个月及末次随访评估。

1.6.3 腰椎功能 采用 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评估手术前后病人腰椎功能状况。

1.6.4 术后并发症 骨水泥渗漏是 PVP 最为常见的并发症,本研究主要统计骨水泥渗漏率,通过观察术后正、侧位 X 线片或 CT 确定有无骨水泥渗漏。

1.7 统计学方法 所有数据采用 SPSS 19.0 进行统计学分析。计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较用 t 检验。计数资料以例数或率表示,比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 两组病人的性别、年龄、骨密度均差异无统计学意义($P > 0.05$, 表 1)。术后随访 6~18 个月,平均 13.2 个月。

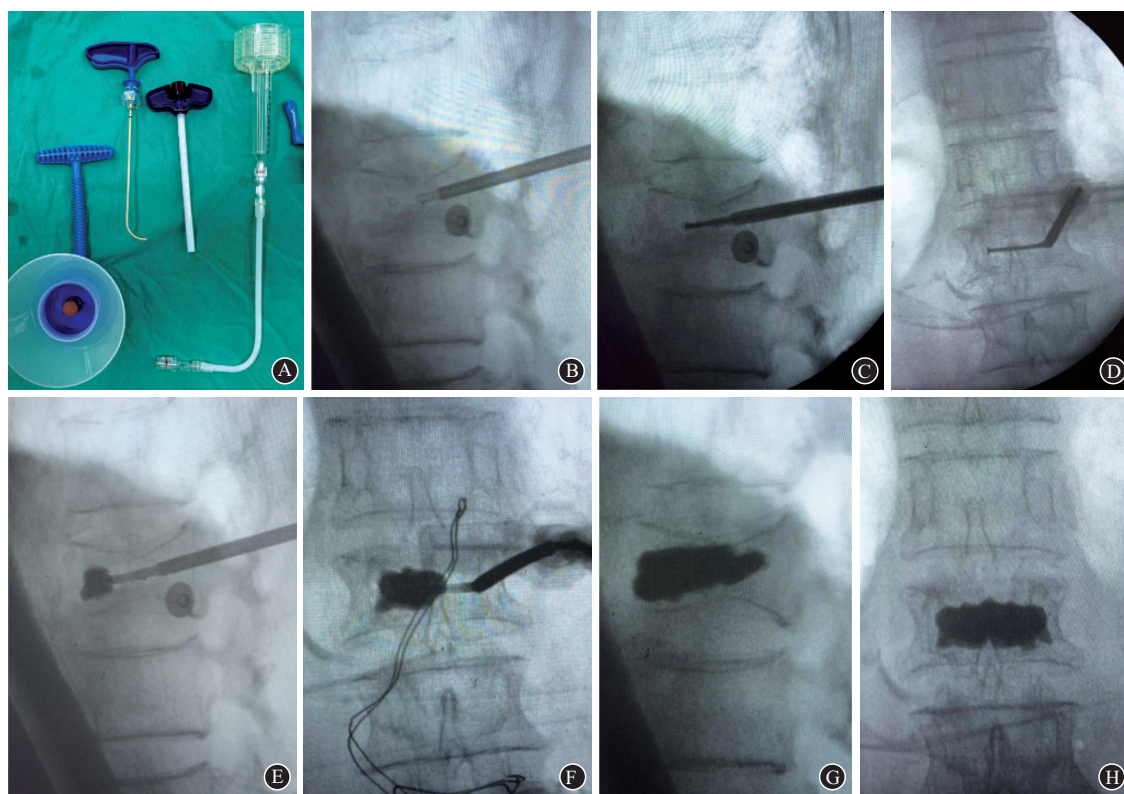


图1 弯角椎体成形装置及单侧弯角椎体成形术(PCVP)术中操作:A弯角椎体成形套件;B穿刺针经单侧椎弓根穿刺直至骨折椎体后部1/3处;C经穿刺针外套管置入弯角注入器,侧位透视下达到椎体前中1/3处;D正位透视下弯角注入器头端越过椎体中线到达对侧;E~F于骨水泥拔丝期时,边退弯角注入器时行多点注射,填充骨折椎体;G~H术毕,正侧位透视见骨水泥弥散分布均匀

2.2 术中情况 PCVP组的手术时间、X线曝光次数、术中出血量、骨水泥注入量均少于常规双侧穿刺PVP组,其中手术时间减少约29.4%,骨水泥注入量减少约30.9%,均差异有统计学意义($P < 0.05$),见表1。

2.3 疗效评价

2.3.1 VAS评分 两组病人术前、术后24 h、术后3个月及末次随访的VAS评分、ODI两组间均差异无统计学意义($P > 0.05$)。两组病人术后VAS评分明显低于术前($P < 0.05$)。两组术后24 h、术后3个月及末次随访的VAS评分、ODI组内差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

2.3.2 骨水泥渗漏率 PCVP组发生2例骨水泥渗漏,渗漏率6.7%;常规双侧穿刺PVP组发生6例,渗漏率20.0%,两组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$,表1)。PCVP组2例为局部静脉渗漏,术中发现有渗漏趋势后即退弯角套管换点继续注射。常规双侧穿刺PVP组4例为局部静脉渗漏,2例为椎体周围渗漏,术中发现渗漏趋势后即停止注射骨水泥。两组均未出现椎管内渗漏、肺栓塞及其他严重并发症,6例病人均无临床症状,未行特殊处理。

2.3.3 其他并发症 至末次随访,两组病例均未发生椎体再骨折,常规双侧穿刺PVP组出现1例邻近椎体新发骨折,此邻椎新发骨折后经PCVP治疗。

3 讨论

PVP治疗OVCF具有创伤小、出血量少、止痛迅速、恢复快的优势,目前在临床上已得到广泛应用^[6-7]。目前PVP的手术入路主要分为单侧与双侧两种,双侧穿刺椎弓根PVP可使骨水泥在椎体两侧分布,恢复部分椎体高度,加强骨折椎体刚度及稳定性。与单侧直行穿刺PVP治疗相比,一侧椎体注入的骨水泥量减少,骨水泥渗漏风险同时降低^[8],而单侧入路可缩短手术时间、减少X线曝光次数、创伤更小^[9]。但单侧穿刺很难使骨水泥在椎体两侧均匀分布,椎体双侧强度不对称,稳定性差,易导致同一椎体再骨折、脊柱侧凸等远期并发症的发生^[10]。若过度内倾穿刺角度来使骨水泥在椎体两侧均匀分布,则易引起椎弓根内侧皮质破损,导致神经损伤。PCVP结合了单侧和双侧入路的优势,其利用镍钛合金的回弹性能,不需过度内倾穿刺角度,在单侧穿刺便可使穿刺针到达对侧椎体,通道注入骨水泥可在骨折椎体的三部分(穿刺对侧、椎体中份、穿刺

表1 两组胸腰椎骨质疏松性椎体压缩骨折病人一般资料、术中情况和随访指标的比较

项目	弯角穿刺组 (PCVP) (n=30)	常规双侧 PVP组 (n=30)	$t(\chi^2)$ 值	P值
性别(男/女)/例	4/26	3/27	(0.162)	0.688
年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	71.6±8.3	70.9±9.4	0.306	0.761
骨密度/ $\bar{x} \pm s$	-3.0±0.3	-2.9±0.4	1.095	0.278
骨折椎体分布/例			(2.135)	0.907
T ₁₀	1	0		
T ₁₁	5	6		
T ₁₂	8	6		
L ₁	9	8		
L ₂	3	5		
L ₃	2	3		
L ₄	2	2		
手术时间/(min, $\bar{x} \pm s$)	38.7±1.80	54.8±1.60	36.616	<0.001
X线曝光次数/(次, $\bar{x} \pm s$)	7.8±2.3	14.6±4.3	7.638	<0.001
术中出血量/(mL, $\bar{x} \pm s$)	5.6±0.5	9.3±1.0	18.126	<0.001
骨水泥注入量/(mL, $\bar{x} \pm s$)	3.8±1.1	5.5±1.3	5.468	<0.001
骨水泥渗漏率/例(%)	2(6.7)	6(20.0)	(2.308)	0.129
VAS评分/(分, $\bar{x} \pm s$)				
术前	7.8±0.6	8.0±0.5	1.403	0.166
术后24 h	2.4±0.8 ^a	2.3±0.5 ^a	0.581	0.564
术后3个月	2.3±0.6 ^{ab}	2.3±0.4 ^{ab}	0.000	1.000
末次随访	2.4±0.6 ^{abc}	2.4±0.9 ^{abc}	0.000	1.000
ODI评分/(%, $\bar{x} \pm s$)				
术前	39.6±3.3	40.5±4.2	0.923	0.360
术后24 h	18.8±3.8 ^a	19.0±2.7 ^a	0.235	0.815
术后3个月	18.6±3.6 ^{ab}	18.9±3.3 ^{ab}	0.336	0.738
末次随访	19.0±3.1 ^{abc}	19.1±2.3 ^{abc}	0.142	0.888

注:同组内与术前比较,^a $P < 0.05$;与术后24 h比较,^b $P > 0.05$;与术后3个月比较,^c $P > 0.05$

侧)均匀弥散分布,强化稳定椎体^[5,11]。本研究结果显示,两组病人术后24 h、术后3个月及末次随访VAS评分和ODI明显低于术前($P < 0.05$),而两组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$),说明两组病人术后疼痛均得到明显缓解,术后腰椎功能较术前均明显改善,临床效果显著。虽然术后VAS评分及ODI两组比较差异无统计学意义,但PCVP组与常规双侧穿刺PVP组比较,有更短的手术时间、更少的X线曝光次数、更少的术中出血($P < 0.05$)。

不论是单侧抑或双侧穿刺,骨水泥在骨折椎体内的充分弥散、均匀分布是术后止痛效果的最大保证^[11]。目前多数学者认为PVP常规骨水泥注入量胸椎为3~5 mL,腰椎4~6 mL,但对注入量多少及其疗效间的相互关系仍未有明确共识。有文献报道称骨水泥注入量与临床效果无明显直接关系^[13],这

与本文的研究结果相同。Zhu等^[14]报道大剂量骨水泥注入是骨水泥渗漏的重要独立危险因素之一,他们认为胸椎椎体骨水泥注入量应 < 3.5 mL,腰椎椎体骨水泥注入量应 < 4 mL来避免骨水泥渗漏。Nieuwenhuijse等^[15]建议理想的骨水泥注入量应为椎体体积的24%。Sun等^[16]的一项前瞻性研究结果认为OVCF在骨水泥注入4~6 mL即可迅速止痛,理想的骨水泥注入量应为椎体体积的19.78%。本研究的术中骨水泥注入量常规双侧穿刺PVP组为 (5.5 ± 1.3) mL,PCVP组为 (3.8 ± 1.1) mL,两组间的差异有统计学意义($P < 0.05$),PCVP组较常规双侧穿刺PVP组骨水泥注入量减少约30.9%。分析其原因,首先是避免大剂量骨水泥注入易引起骨水泥渗漏的发生;其次PCVP组术中在骨水泥拉丝早期即进行适度灌注,以确保骨水泥在骨折椎体内的弥散效果,均匀分布弥散后边退换点后继续注入,且总体注入时间明显较常规双侧穿刺PVP组缩短。最终两组的手术疗效无明显差别,这得益于PCVP组骨水泥在骨折椎内的均匀弥散分布。

骨水泥渗漏是PVP最常见的并发症,文献报道其发生率在3%~75%,骨水泥渗漏多与术中穿刺失误、静脉渗漏、骨水泥注入速度过快、骨水泥注入量过大等有关^[6,17-18]。本研究中,PCVP组发生2例骨水泥渗漏,渗漏率6.7%,常规双侧穿刺PVP组发生6例,渗漏率20.0%,两组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。传统双侧穿刺PVP是依靠直行穿刺套管在固定点注入骨水泥后在骨折椎体内弥散,并且多数不能到达椎体中线,为了达到满意的骨水泥充盈效果,往往会注入较多的骨水泥。固定点的骨水泥注入会不断增加局部的压力,骨水泥容易渗漏至椎体旁或静脉内。而一旦发生骨水泥渗漏,只能停止注射,导致骨水泥在骨折椎体内分布不均匀。PCVP通过弯角穿刺针在骨折椎体内形成一条从对侧至穿刺侧的弧形骨水泥输送通道,先行穿刺对侧椎体的骨水泥注入,在C臂机透视辅助下边退通道边行骨水泥注入。此并非单一点注射,而是从骨折椎体对侧至穿刺侧的多点均匀注射、低压弥散,机动的观察和控制骨水泥弥散及渗漏情况。因此本研究中PCVP组骨水泥渗漏率不高的原因首先是在保证临床疗效的前提下PCVP组骨水泥注入剂量少于常规双侧穿刺PVP组,其次弯角椎体成形套管器械的优势保证其可动态观察及控制整个弯角穿刺通道中骨水泥的弥散。

PVP术后的中远期并发症中,病椎再骨折及邻椎新发骨折较常见,原因可能是骨折椎体内骨水

泥的不均匀分布,在某些情形下骨折椎体上下终板及邻椎应力分布不均导致病椎再骨折或邻椎新发骨折,故骨水泥在椎体内的均匀弥散及减少向椎间盘的渗漏极为重要^[19]。本研究中术后复查X片或CT显示PCVP组骨水泥在骨折椎体内的均匀弥散分布与常规双侧穿刺PVP组相比有明显的优势,PCVP不需过度内倾穿刺角度,骨水泥即可在骨折椎体的三部分(穿刺对侧、椎体中份、穿刺侧)均匀分布,强化稳定椎体;而常规双侧穿刺PVP组骨水泥基本分布在骨折椎体的穿刺两侧,椎体中份基本无骨水泥分布。笔者认为骨水泥在病椎内的充分弥散、均匀分布也是PVP术后能否维持椎体强度,维持相邻节段椎体应力平衡最大保证。本研究中两组病人观察至末次随访,PCVP组未出现病椎再骨折或邻椎新发骨折,常规双侧穿刺PVP组出现1例邻椎新发骨折,此邻椎新发骨折后经PCVP治疗,分析此例邻椎新发骨折的原因与骨水泥在原病椎内分布不均致使相邻节段椎体应力不均衡有关。

综上所述,PCVP具有手术时间短、X线曝光次数少、出血少的优势,同时可减少骨水泥渗漏等并发症的发生,治疗胸、腰椎OVCF可取得满意的临床疗效。

参考文献

- [1] XIE L, ZHAO ZG, ZHANG SJ, et al. Percutaneous vertebroplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: an updated meta-analysis of prospective randomized controlled trials[J]. *Int J Surg*, 2017, 47: 25-32.
- [2] YUAN WH, HSU HC, LAI KL, et al. Vertebroplasty and balloon kyphoplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(31): e4491. DOI: 10.1097/MD.0000000000004491.
- [3] 王鹏飞, 谢威, 汪昌林, 等. 经皮椎体成形术与保守疗法治疗胸腰椎骨质疏松性骨折的疗效比较[J]. *安徽医药*, 2014, 18(2): 315-317.
- [4] YANG EZ, XU JG, HUANG GZ, et al. Percutaneous vertebroplasty versus conservative treatment in aged patients with acute osteoporotic vertebral compression fractures: a prospective randomized controlled clinical study[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2016, 41(8): 653-660.
- [5] 熊森, 毛克亚, 韩振川, 等. 应用弯角椎体成形装置修复胸腰段骨质疏松性椎体压缩骨折[J]. *中国组织工程研究*, 2016, 20(17): 24456-24462.
- [6] FILIPPIADIS DK, MARCIA S, MASALA S, et al. Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty: current status, new developments and old controversies[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2017, 40(12): 1815-1823.
- [7] 刘雷, 方诗元. PVP和PKP治疗老年骨质疏松椎体压缩性骨折的Meta分析[J]. *安徽医药*, 2015, 19(3): 495-498.
- [8] CHENG X, LONG HQ, XU JH, et al. Comparison of unilateral versus bilateral percutaneous kyphoplasty for the treatment of patients with osteoporosis vertebral compression fracture (OVCF): a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3439-3449.
- [9] YAN L, JIANG R, HE B, et al. A comparison between unilateral transverse process-pedicle and bilateral puncture techniques in percutaneous kyphoplasty[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2014, 39(26 Spec): B19-26.
- [10] LIEBSCHNER MA, ROSENBERG WS, KEAVENY TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(14): 1547-1554.
- [11] CHENG Y, LIU Y. Percutaneous curved vertebroplasty in the treatment of thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(6): 2424-2433.
- [12] CHEVALIER Y, PAHR D, CHARLEBOIS M, et al. Cement distribution, volume, and compliance in vertebroplasty: some answers from an anatomy-based nonlinear finite element study[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(16): 1722-1730.
- [13] KIM BS, HUM B, PARK JC, et al. Retrospective review of procedural parameters and outcomes of percutaneous vertebroplasty in 673 patients[J]. *Interv Neuroradiol*, 2014, 20(5): 564-575.
- [14] ZHU SY, ZHONG ZM, WU Q, et al. Risk factors for bone cement leakage in percutaneous vertebroplasty: a retrospective study of four hundred and eighty five patients[J]. *Int Orthop*, 2016, 40(6): 1205-1210.
- [15] NIEUWENHUIJSE MJ, VAN ERKEL AR, DIJKSTRA PD. Cement leakage in percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: identification of risk factors[J]. *Spine J*, 2011, 11(9): 839-848.
- [16] SUN HB, JING XS, LIU YZ, et al. The optimal volume fraction in percutaneous vertebroplasty evaluated by pain relief, cement dispersion, and cement leakage: a prospective cohort study of 130 patients with painful osteoporotic vertebral compression fracture in the thoracolumbar vertebra[J]. *World Neurosurg*, 2018, 114: e677-e688. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.03.050.
- [17] SARACEN A, KOTWICA Z. Complications of percutaneous vertebroplasty: an analysis of 1100 procedures performed in 616 patients[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95(24): e3850. DOI: 10.1097/MD.0000000000003850.
- [18] HONG SJ, LEE S, YOON JS, et al. Analysis of intradiscal cement leakage during percutaneous vertebroplasty: multivariate study of risk factors emphasizing preoperative MR findings[J]. *J Neuroradiol*, 2014, 41(3): 195-201.
- [19] TAKAHARA K, KAMIMURA M, MORIYA H, et al. Risk factors of adjacent vertebral collapse after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fracture in postmenopausal women[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2016, 17(1): 12.

(收稿日期: 2019-08-05, 修回日期: 2019-09-16)