

液压输送式椎体成形术对椎体形态及骨水泥弥散影响的研究

王智权, 赵斌, 赵伟, 原杰, 王少伟, 陆向东, 徐朝健, 王永峰
(山西医科大学第二医院骨科, 山西 太原 030001)

【摘要】 目的: 评价不同骨水泥输送装置经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)对椎体形态及骨水泥填充弥散的影响。方法: 对 2016 年 1 月至 2017 年 12 月收治的 52 例单节段骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCFs)进行回顾性分析。根据手术中骨水泥注入方法的不同将 52 例患者分为液压组(28 例)和推杆组(24 例)。比较两组患者手术前后 VAS 评分, 观察手术前后病椎椎体前缘高度、椎体压缩比、后凸角, 分析术后侧位椎体前 1/3、中线、后 1/3 骨水泥填充比和正位 X 线片中骨水泥弥散情况, 评价不同骨水泥输送装置 PVP 术后对椎体形态及骨水泥弥散可能产生的影响。结果: 所有患者术后 VAS 评分较术前明显改善, 液压组优于推杆组($P < 0.05$)。椎体前缘高度、椎体压缩比及后凸角较术前均有明显恢复($P < 0.05$), 组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。侧位 X 线片骨水泥填充比, 两组在椎体前 1/3 及中线处差异无统计学意义($P > 0.05$), 但在椎体后 1/3 处差异明显($P < 0.05$); 正位 X 线片上液压组骨水泥弥散更加显著($P < 0.05$)。结论: 液压式 PVP 术具有更佳临床疗效, 能保证骨水泥在骨折椎体内充分填充, 能更好地恢复椎体形态, 是一种有效的新技术, 值得在临床推广应用。

【关键词】 经皮椎体成形术; 骨质疏松性椎体压缩骨折; 液压输送式椎体成形术

中图分类号: R683.2

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.07.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the effect of hydraulic delivery vertebroplasty on vertebral morphology and bone cement diffusion WANG Zhi-quan, ZHAO bin, ZHAO Wei, YUAN Jie, WANG Shao-wei, LU Xiang-dong, XU Chao-jian, and WANG Yong-feng. Department of Orthopaedics, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi, China

ABSTRACT Objective: To evaluate the effect of different bone cement injection methods during percutaneous vertebroplasty (PVP) on vertebral morphology and cement diffusion. **Methods:** The clinical data of 52 patients with single-segment osteoporotic vertebral compression fracture treated from January 2016 to December 2017 were retrospectively analyzed. The patients were divided into hydraulic group (28 cases) and pusher group (24 cases) according to bone cement injection method during PVP. By comparing visual analogue scale (VAS), height of anterior vertebral body, compression ratio, kyphosis angle before and after operation and analyzing filling ratio of bone cement in the first 1/3, median line and back 1/3 of the vertebral body in lateral X-rays and the conditions of bone cement diffusion in AP X-rays were to evaluate the effect of different bone cement injection methods on vertebral morphology and cement diffusion. **Results:** Postoperative VAS was obviously improved in all patients and hydraulic group was better than pusher group ($P < 0.05$). Postoperative height of anterior vertebral body, compression ratio and kyphosis angle obviously restored in all patients while there was no significant difference between two groups ($P > 0.05$). There was no significant difference in filling ratio of bone cement in the first 1/3 and median line of the vertebral body by lateral X-ray films between two groups ($P > 0.05$), but in the back 1/3 of the vertebral body filling ratio of bone cement in hydraulic group was better than in pusher group ($P < 0.05$). The distribution of bone cement from AP X-ray films were more significant in hydraulic group ($P < 0.05$). **Conclusion:** Hydraulic delivery vertebroplasty (HDVP) has better clinical efficacy and it can guarantee sufficient distribution of bone cement into the fractured vertebra and preferably restore the morphology of vertebral body, which is worthy of clinical application.

KEYWORDS Percutaneous vertebroplasty; Osteoporosis vertebral compression fractures; Hydraulic delivery vertebroplasty

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 81572207)
Fund program: National Natural Science Foundation of China (No. 81572207)

通讯作者: 王永峰 E-mail: wywf8@163.com

Corresponding author: WANG Yong-feng E-mail: wywf8@163.com

目前经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)已被临床广泛应用于治疗骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCFs)。其生物力学研究表明^[1-2], 同术前

比较 PVP 术后骨折椎体刚度、强度均显著提高,且能有效阻止骨折区域的微动,并防止再次塌陷^[3-4]。近年来,随着新型骨水泥注入装置的研发及临床应用,骨水泥在伤椎内弥散程度得到明显改善,液压输送式椎体成形术 (hydraulic delivery vertebroplasty, HDVP) 是其中较为典型的一种,其通过液体压力输送骨水泥,达到精确控制骨水泥注入量且在此过程中可限制其注入压力。但目前对应用此新型装置进行椎体成形术后的伤椎形态学变化及骨水泥弥散程度的描述尚无明确报道。本研究以单节段骨质疏松性椎体压缩骨折患者作为研究对象,通过回顾性研究设计,对应用液压式与推杆式输送装置行 PVP 手术前后 VAS 评分、椎体前缘高度、后凸角、椎体压缩比及骨水泥弥散情况进行对比分析,较全面地认识液压式骨水泥输送装置在治疗骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用。

1 资料与方法

1.1 病例选择

1.1.1 纳入标准 经过保守治疗 2~4 周无明显疗效的骨质疏松性椎体压缩骨折;单节段胸腰段椎体骨质疏松性压缩性骨折;无脊髓损伤征;无严重精神疾患、神经系统疾病、心肺功能障碍或其他可能影响手术进行或术后恢复的疾患。

1.1.2 排除标准 存在椎体肿瘤、骨髓瘤等病理性因素引起的骨折者;合并各种心、肝、肺及造血系统严重疾病者,长期使用激素治疗者;智力障碍、精神病、老年痴呆等存在意识障碍患者。

1.2 一般资料

回顾性分析 2016 年 1 月至 2017 年 12 月收治的 52 例单节段 OVCFs 患者临床资料,根据 PVP 手术中骨水泥注入方法的不同将 52 例患者分为液压组和推杆组。其中推杆组 24 例,男 5 例,女 19 例,年龄(70.1±6.2)岁,骨水泥注入量(2.9±0.9) ml,骨密度 T 值(-3.6±1.1) g/cm³。液压组 28 例,男 5 例,女 23 例,年龄(69.0±4.1)岁,骨水泥注入量(3.3±1.1) ml,骨密度 T 值(-3.2±0.9) g/cm³。两组患者一般资料比较差异无统计学意义(表 1)。为排除多节段压缩骨折在测量及疗效评估相互间影响,本研究只选取单节段胸腰椎压缩骨折患者。术前使用双能 X 线吸收法检测腰椎骨密度,根据世界卫生组织骨质疏松诊断标准^[5]明确诊断为胸腰椎 OVCFs。

1.3 治疗方法

患者俯卧,腹部悬空,调整手术床使患者呈过伸俯卧体位,C 形臂 X 线透视确定责任椎体椎弓根,体表定位。所有患者采取单侧穿刺置管。常规消毒铺单,2%的利多卡因局麻,C 形臂 X 线透视下钻入穿

表 1 两组骨质疏松性椎体压缩骨折患者一般资料比较
Tab.1 Comparison of general data of patient with osteoporotic vertebral compression fractures between two groups

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	骨水泥注入 量($\bar{x}\pm s$, ml)	骨密度 T 值 ($\bar{x}\pm s$, g/cm ³)
		男	女			
液压组	28	5	23	69.0±4.1	3.3±1.1	-3.2±0.9
推杆组	24	5	19	70.1±6.2	2.9±0.9	-3.6±1.1
检验值		$\chi^2=0.074$		$t=0.764$	$t=1.471$	$t=1.442$
P 值		0.772		0.435	0.074	0.068

刺针(15G),当侧位透视影像显示穿刺针尖端到达椎体前中 1/3,正位透视针尖位于棘突处甚至到达对侧,视为满意的骨水泥注入点。推杆组:调制搅拌骨水泥,用 5 ml 注射器将骨水泥注入至推杆套管内,待骨水泥处于牙膏状期,通过工作套管将骨水泥推注入椎体。液压组:专业骨水泥搅拌部件调制搅拌 PMMA 骨水泥,装入骨水泥注射部件,通过液压推注部件的旋转推注,注入椎体内。在 C 形臂 X 线透视监测骨水泥弥散填充情况下向椎体内注入合适骨水泥。确认骨水泥固化后,转动、拔出管道。压迫止血后无菌敷料包扎。

1.4 观察项目与方法

采用疼痛视觉类比评分 (visual analogue scale, VAS) 评估患者手术前后疼痛程度。采用医学影像存储及传输系统 Syngo.Plaza (SIEMENS Healthineers, Germany) 对手术前后的影像学资料进行测量:包括胸腰椎侧位 X 线测量病椎相邻正常上下椎体前缘高度(a 和 c),病椎的后凸角(α),病椎椎体前缘高度(b)、椎体中部高度(e)、椎体后缘高度(d)、椎体前 1/3 处骨水泥高度(b')、椎体中部骨水泥高度(e')、椎体后 1/3 处骨水泥高度(d');计算并比较手术前后椎体前缘高度,椎体压缩比 $1-b/[(a+c)/2]$,病椎后凸角,以及椎体前 1/3、中线、后 1/3 骨水泥填充比^[6-7]($b'/b, e'/e, d'/d$),见图 1;观察术后腰椎正位 X 线,根据椎体中垂线、对侧椎弓根内侧缘切线,将椎体分为穿刺侧区、中线-对侧椎弓根内缘区、对侧椎弓根内缘外区 3 个区,依骨水泥由穿刺侧弥散入不同区域分别为 I、II、III 型,以此描述并统计骨水泥弥散程度(图 2)。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 22.0 统计学软件进行数据分析,定量资料均以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,手术前后 VAS 评分、病椎椎体前缘高度、椎体压缩比、后凸角、术后椎体骨水泥填充比等采用配对 t 检验;两组骨水泥弥散分型的差异采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计

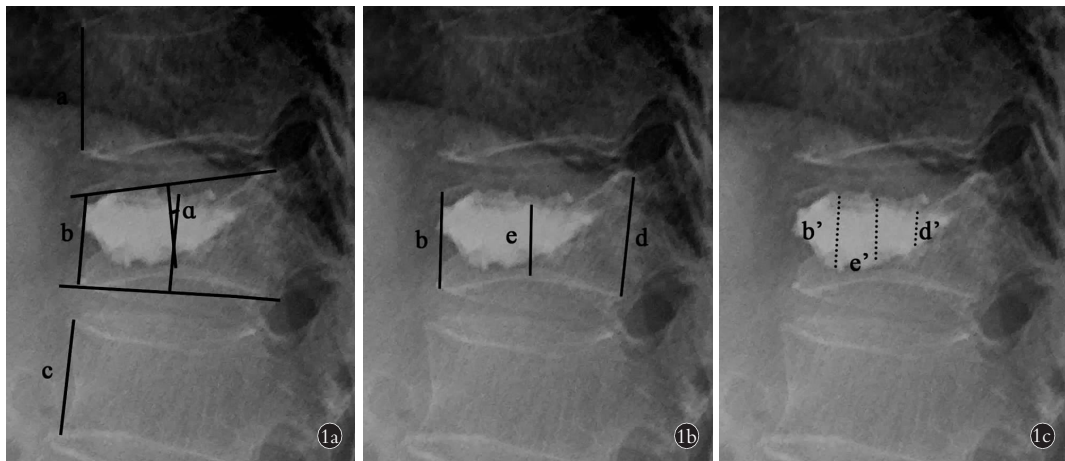


图 1 影像学测量方法 1a. b 为椎体前缘高度, a 和 c 分别为病椎相邻正常上下椎体的高度, α 为病椎的后凸角 1b. b 为椎体前缘高度, e 为椎体中部高度, d 为椎体后缘高度 1c. b' 为椎体前 1/3 处骨水泥高度, e' 为椎体中部骨水泥高度, d' 为椎体后 1/3 处骨水泥高度

Fig.1 Image measurement method 1a. b is the height of anterior vertebral body, a and c is the height of adjacent upper and lower vertebral body respectively, α is kyphosis angle 1b. b is the height of anterior vertebral body, e is the height of middle vertebral body, d is the height of posterior vertebral body 1c. b' is the height of bone cement in the anterior 1/3 of vertebral body, e' is the height of bone cement in the median line of vertebral body, d' is the height of bone cement in the back 1/3 of vertebral body



图 2 骨水泥弥散分型法 2a. I 型: 弥散超过同侧椎弓根内侧缘但未超过椎体中线 2b. II 型: 弥散超过椎体中线未超过对侧椎弓根内侧缘 2c. III 型: 弥散超过对侧椎弓根内侧缘

Fig.2 Bone cement diffusion classification 2a. Type I : AP X-ray film showed bone cement dispersion exceeds the medial edge of the ipsilateral pedicle but does not exceed the midline of vertebral body 2b. Type II : AP X-ray film showed bone cement dispersion exceeds the midline of the vertebral body but does not exceed the medial edge of the contralateral pedicle 2c. Type III : AP X-ray film showed bone cement dispersion exceeds the medial edge of the contralateral pedicle

学意义。

2 结果

所有患者手术顺利, 术后未发现静脉渗漏、椎管内渗漏及肺栓塞等并发症。典型病例见图 3, 4。所有患者术后 VAS 评分较术前明显改善, 液压组较推杆组改善更明显 ($P < 0.05$), 见表 2。

术后侧位 X 线骨水泥填充比, 两组在椎体前 1/3 及椎体中线处差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但是在椎体后 1/3 骨水泥填充比液压组为 0.45 ± 0.20 , 推杆组为 0.33 ± 0.24 , 两组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。X 线正位片上骨水泥弥散分型: 液压组 I 型

5 例, II 型 13 例, III 10 例; 推杆组 I 型 11 例, II 型 11 例, III 2 例, 两组比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 3。

两组患者手术前后影像学数据见表 4。术后 3 d 两组患者病椎椎体前缘高度、椎体后凸角、压缩比与术前比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 而组间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 椎体形态恢复的影响

老年人骨质疏松性脊柱压缩骨折常常伴有严重的腰背部疼痛及椎体塌陷等临床症状^[8], 临床微创

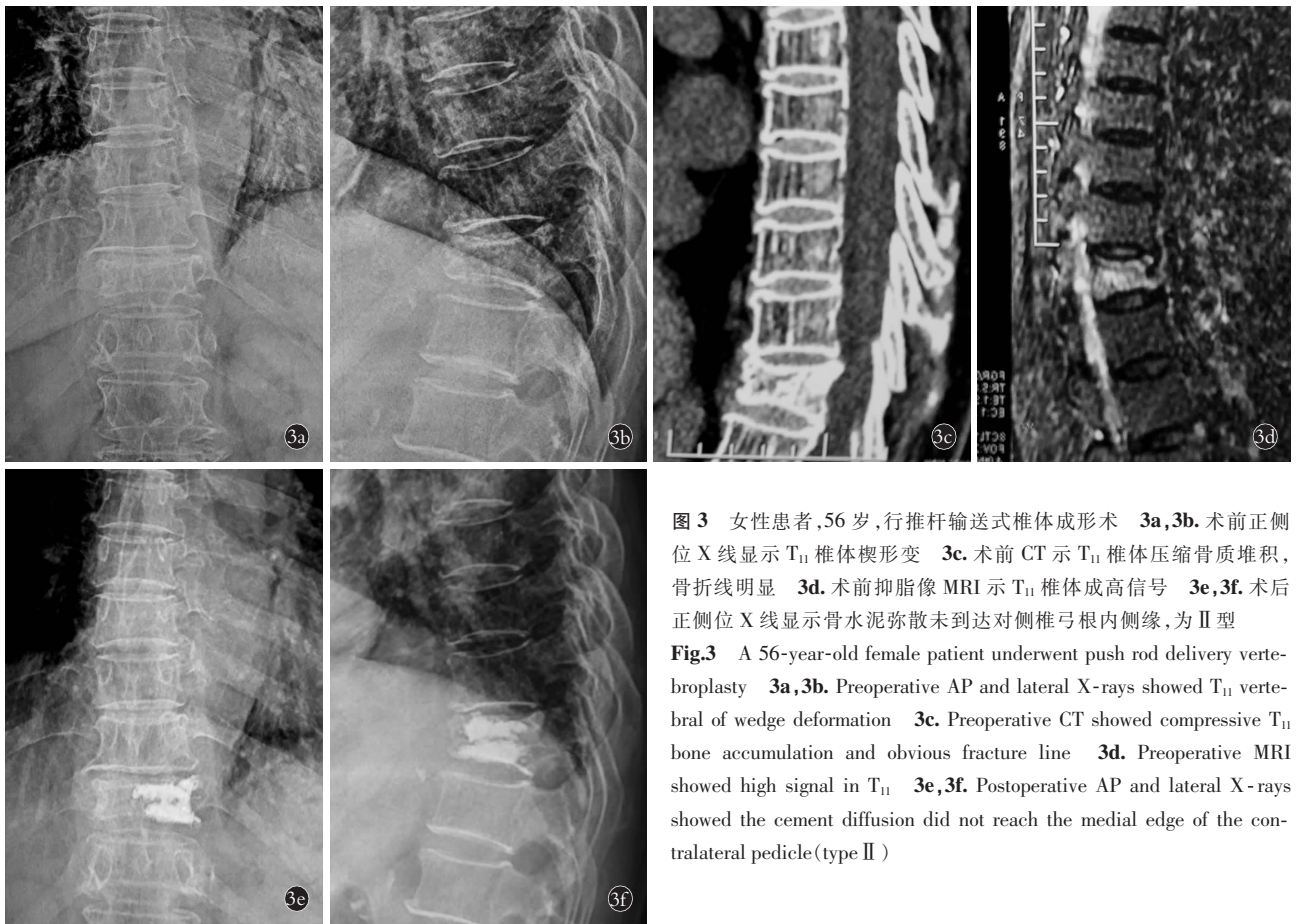


图 3 女性患者, 56 岁, 行推杆输送式椎体成形术 3a, 3b. 术前正侧位 X 线显示 T₁₁ 椎体楔形变 3c. 术前 CT 示 T₁₁ 椎体压缩骨质堆积, 骨折线明显 3d. 术前抑脂像 MRI 示 T₁₁ 椎体成高信号 3e, 3f. 术后正侧位 X 线显示骨水泥弥散未到达对侧椎弓根内缘, 为 II 型

Fig. 3 A 56-year-old female patient underwent push rod delivery vertebroplasty 3a, 3b. Preoperative AP and lateral X-rays showed T₁₁ vertebral of wedge deformation 3c. Preoperative CT showed compressive T₁₁ bone accumulation and obvious fracture line 3d. Preoperative MRI showed high signal in T₁₁ 3e, 3f. Postoperative AP and lateral X-rays showed the cement diffusion did not reach the medial edge of the contralateral pedicle (type II)

表 2 两组骨质疏松性椎体压缩骨折患者手术前后 VAS 评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

Tab. 2 Comparison of pre-and post-operative VAS scores of patients with osteoporotic vertebral compression fractures between two groups ($\bar{x} \pm s$, score)

组别	例数	术前	术后 3 d
液压组	28	8.2±1.4	2.1±0.3*
推杆组	24	8.1±1.7	2.9±0.5**
t 值		0.233	7.110
P 值		0.783	<0.001

注: 与术前比较, * $t=22.546, P<0.001$; ** $t=14.367, P<0.001$
 Note: Compared with preoperative data, * $t=22.546, P<0.001$; ** $t=14.367, P<0.001$

治疗主要关注术后疼痛的缓解, 对椎体塌陷的恢复不作要求。学者研究表明椎体塌陷往往有脊柱不稳, 长期可能导致脊柱的后凸畸形, 造成术后腰背部的慢性疼痛, 如后凸畸形压迫椎管内的神经根、脊髓常引起相应的神经症状^[9-10]。既往研究认为对急性期或亚急性期的 OVCFs, PVP 不能恢复骨折椎体前缘高度及纠正后凸角度^[11], 笔者通过对术后液压组及推杆组椎体前缘高度、椎体压缩比及纠正后凸角度的

测量, 发现同术前相比差异有统计学意义, 表明 PVP 对椎体前缘高度、椎体压缩比及纠正后凸角度有明显改善。这与近年来文献^[12-13]报道相似, 这可能与患者过伸体位时腰背肌等相关组织松弛, 病椎内部分压力释放减小及骨水泥注入椎体对压缩椎体骨小梁的支撑恢复了塌陷的椎体前缘高度^[14], 减小了椎体压缩比, 纠正了后凸角有关。除此之外, 笔者对手术前后椎体前缘高度、椎体压缩比及后凸角度的变化进行统计, 发现手术前后椎体前缘高度差异有统计学意义 ($P<0.05$), 可能是因为液压式骨水泥输送装置具有特殊的恒压输送装置, 可以提供持续稳定的力量有关; 同时发现术后两组间及组内椎体前缘高度、椎体压缩比及后凸角度差异无统计学意义 ($P>0.05$), 这可能与两组 PVP 不仅对椎体前缘高度恢复具有显著效果, 也可能一定程度恢复了椎体后缘高度。

3.2 骨水泥弥散分布的研究

骨水泥在病椎内的弥散填充对 PVP 疗效起到质的作用^[15]。骨水泥在椎体内的均匀弥散可最大限度地减少邻近椎体发生骨折的风险^[16]。Kim 等^[17]通过研究负载对骨质疏松性椎体压缩骨折 PVP 术后的影响, 发现负载均匀按上终板, 上终板下的松质骨



图 4 女性患者,61 岁,行液压输送式椎体成形术 4a,4b. 术前正侧位 X 线显示 T₁₂ 椎体楔形变 4c. 术前 CT 示 T₁₂ 椎体楔形变,椎体裂隙征 4d. 术前抑脂像 MRI 示 T₁₂ 椎体成高信号 4e,4f. 术后正侧位 X 线显示骨水泥弥散到达对侧椎弓根内侧缘,为 III 型
Fig.4 A 61-year-old female patient underwent hydraulic delivery vertebroplasty 4a,4b. Preoperative AP and lateral X-rays showed T₁₂ vertebral of wedge deformation 4c. Preoperative CT showed T₁₂ vertebral of wedge deformation and vertebral cleft sign 4d. Preoperative MRI showed high signal in T₁₂ 4e,4f. Postoperative AP and lateral X-rays showed that cement diffused to the medial edge of contralateral pedicle(type III)

表 3 两组骨质疏松性椎体压缩骨折患者骨水泥弥散数据比较(̄x±s)

Tab.3 Comparison of diffusion data of bone cement of patients with osteoporotic vertebral compression fractures between two groups(̄x±s)

组别	例数	骨水泥填充比			骨水泥弥散分型(例)		
		椎体前 1/3	椎体中线	椎体后 1/3	I 型	II 型	III 型
液压组	28	0.60±0.24	0.76±0.23	0.45±0.20	5	13	10
推杆组	24	0.62±0.18	0.76±0.21	0.33±0.24	11	11	2
检验值		t=0.307	t=0.032	t=2.043	χ ² =12.000		
P 值		0.760	0.975	0.046	<0.001		

表 4 两组骨质疏松性椎体压缩骨折患者手术前后的影像学数据比较(̄x±s)

Tab.4 Comparison of pre-and post-operative image data of patients with osteoporotic vertebral compression fractures between two groups(̄x±s)

项目	液压组(例数=28)				推杆组(例数=24)			
	术前	术后 3 d	t 值	P 值	术前	术后 3 d	t 值	P 值
椎体前缘高度(cm)	1.95±0.51*	2.23±0.47*	20.371	<0.001	1.99±0.59**	2.18±0.63*	16.466	<0.001
椎体压缩比	0.25±0.16 [▲]	0.15±0.12 [●]	6.968	<0.001	0.30±0.17 ^{▲▲}	0.23±0.17 [○]	6.437	<0.001
后凸角(°)	12.91±6.82 [■]	9.50±5.57 [◆]	2.022	0.04	10.23±4.74 [■]	7.38±4.95 [◇]	2.038	0.047

注: *与**比较, t=0.987, P=0.789; ▲与▲▲比较, t=0.269, P=0.328; ■与■比较, t=1.620, P=0.112; *与[○]比较, t=1.848, P=0.794; ●与[○]比较, t=0.263, P=0.071; ◆与[◇]比较, t=1.471, P=0.147

Note: *vs**, t=0.987, P=0.789; ▲vs▲▲, t=0.269, P=0.328; ■vs■, t=1.620, P=0.112; *vs[○], t=1.848, P=0.794; ●vs[○], t=0.263, P=0.071; ◆vs[◇], t=1.471, P=0.147

填充骨水泥,下终板上的松质骨和下终板顺序进行传导,并在持续负载下椎体松质骨的小梁逐渐粉碎。通过对椎体侧位 X 线骨水泥填充比研究发现,两组在椎体前 1/3 及中线处差异无统计学意义 ($P > 0.05$),然而在椎体后 1/3 处差异有统计学意义 ($P < 0.05$),这与针尖位于椎体前中 1/3 处骨水泥从椎体前柱向后弥散有关,表明液压组在椎体后 1/3 处骨水泥填充更加充分。此外, Liebschner 等^[18]发现,单侧灌注骨水泥可出现椎体单侧承重引起脊柱不稳,提示在临床应用中尽量保证双侧骨水泥填充,可对远期再发骨折有益处。尽管普遍共识认为骨水泥的分布与注射喷嘴的位置、骨折的粘稠度、注射量和骨质疏松程度有关^[19]。但笔者通过对正位 X 线片上骨水泥弥散分型的统计发现,液压组骨水泥弥散更加显著 ($P < 0.05$)。Cotton 等^[20]在力学试验中发现术后疼痛的缓解与椎体内骨水泥的分布呈正相关,与骨水泥的注入量无关。本研究中 PVP 术后 VAS 评分较术前明显改善,液压组较推杆组更好 ($P < 0.05$)。

3.3 小结

基于上述,笔者认为液压组 PVP 对改善胸腰椎 OVCFs 疼痛效果更佳,骨水泥弥散分布更加均匀,从而可能收获更好的中远期疗效。但本研究也存在不足,各组样本量有限,可能会造成参数测量的偏差。尽管存在上述局限性,但通过研究相关参数后发现,液压式及推杆式骨水泥输送装置 PVP 术后均对椎体前缘高度、椎体压缩比及后凸角有显著纠正,且液压组对椎体前缘高度恢复更加显著,骨水泥弥散分布更加充分。所以笔者认为,与推杆式 PVP 治疗 OVCFs 相比,液压式 PVP 术具有更佳的临床疗效,能保证骨水泥在骨折椎体内充分填充,更好的恢复椎体形态,值得在临床推广应用。

参考文献

- [1] Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000, 25(22):923-928.
- [2] Francis RM, Aspray TJ, Hide G, et al. Back pain in osteoporotic vertebral fractures[J]. Osteoporos Int, 2008, 19(7):895-903.
- [3] Nieuwenhuijse MJ, Bollen L, van Erkel AR, et al. Optimal intravertebral cement volume in percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(20):1747-1755.
- [4] Martincic D, Brojan M, Kosel F, et al. Minimum cement volume for vertebroplasty[J]. Int Orthop, 2015, 39(4):727-733.
- [5] Kanis JA, Melton LJ, Christiansen C, et al. The diagnosis of osteoporosis[J]. J Bone Miner Res, 1994, 9(8):1137-1141.
- [6] Song J, Ding L, Chen J, et al. The filling proportion of bone cement affects recollapse of vertebrae after percutaneous vertebral augmentation: A retrospective cohort study[J]. Int J Surg, 2017, 47:33-38.
- [7] Ates A, Gemalmaz HC, Deveci MA, et al. Comparison of effectiveness of kyphoplasty and vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebra fractures[J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2016, 50(6):619-622.
- [8] 吴耀,王峰,周建强,等.经皮椎体成形术和经皮椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体骨折的临床疗效分析[J].中国骨伤, 2014, 27(5):385-389.
WU Y, WANG F, ZHOU JQ, et al. Analysis of clinical effects of percutaneous vertebroplasty and percutaneous kyphoplasty in treating osteoporotic vertebral compression fracture[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2014, 27(5):385-389. Chinese with abstract in English.
- [9] Marks DS, Qaimkhani SA. The natural history of congenital scoliosis and kyphosis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(17):1751-1755.
- [10] McMaster MJ, Singh H. Natural history of congenital kyphosis and kyphoscoliosis: a study of one hundred and twelve patients[J]. J Bone Joint Surg Am, 1999, 81(10):1367-1383.
- [11] Foumey DR, Schomer DF, Nader R, et al. Percutaneous vertebroplasty and kyphoplasty for painful vertebral body fractures in cancer patients[J]. J Neurosurg, 2003, 98(1 Suppl):21-30.
- [12] Chin DK, Kim YS, Cho YE, et al. Efficacy of postural reduction in osteoporotic vertebral compression fractures followed by percutaneous vertebroplasty[J]. Neurosurgery, 2006, 58(4):695-700.
- [13] 刘建,俞雷钧,宋红浦,等.经皮椎体成形术后非手术椎体骨折的危险因素分析[J].中国骨伤, 2013, 26(3):190-193.
LIU J, YU LJ, SONG HP, et al. Analysis of correlative factors of non-surgical vertebral fractures after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(3):190-193. Chinese with abstract in English.
- [14] Ithayek E, Miller P, Barzilay Y, et al. Vertebral augmentation in the treatment of vertebral compression fractures: review and new insights from recent studies[J]. J Clin Neurosci, 2012, 9(6):786-791.
- [15] Molloy S, Mathis JM, Belkoff SM. The effect of vertebral body percentage fill on mechanical behavior during percutaneous vertebroplasty[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(14):1549-1554.
- [16] Baek SW, Kim C, Chang H. The relationship between the spinopelvic balance and the incidence of adjacent vertebral fractures following percutaneous vertebroplasty[J]. Osteoporos Int, 2015, 26(5):1507-1513.
- [17] Kim MJ, Lindsey DP, Hannibal M, et al. Vertebroplasty versus kyphoplasty: biomechanical behavior under repetitive loading conditions[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31:2079-2084.
- [18] 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.
- [19] Chen Q, Liu L, Liang G. Distribution characteristics of bone cement used for unilateral puncture percutaneous vertebroplasty in multiple planes[J]. Orthopade, 2018, 47(7):585-589.
- [20] Cotton A, Dewatre F, Cortet B, et al. Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma: effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methyl methacrylate at clinical follow-up[J]. Radiology, 1996, 2000:525-530.