

· 临床研究 ·

单侧椎弓根旁入路经皮椎体成形术治疗 重度椎体压缩骨折 42 例*

罗同青** 胡朝晖 谢湘涛

(广西壮族自治区柳州市人民医院脊柱外科, 柳州 545006)

【摘要】 目的 探讨单侧椎弓根旁入路经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)治疗重度骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的疗效。**方法** 2017 年 1 月~2018 年 12 月,对 42 例重度 OVCF 采用单侧椎弓根旁入路 PVP 治疗。所有骨折椎体高度均少于原椎体的 1/3。采用单侧椎弓根旁入路穿刺,穿刺成功后注射骨水泥。**结果** 42 例均完成手术。手术时间 26~45 min,出血量 <5 ml,骨水泥注射量 1.5~3.5 ml。骨水泥在椎体内分布对称,无穿刺并发症。3 个椎体骨水泥渗漏,渗漏率 7.1%。均获得随访,随访时间 6~12 个月。术前、术后 1 d 及末次随访时疼痛视觉模拟评分(Visual Analogue Scale, VAS)分别为(8.6±0.6)、(3.7±0.5)、(2.1±0.6)分,术后均较术前明显改善($P=0.000$)。术前、术后 1 d 及末次随访时 Cobb 角分别为 $9.6^\circ \pm 3.4^\circ$ 、 $8.9^\circ \pm 3.1^\circ$ 、 $8.9^\circ \pm 2.6^\circ$,术后均较术前明显减小($P=0.000$)。**结论** 单侧椎弓根旁入路 PVP 治疗重度 OVCF 安全、有效。

【关键词】 重度; 骨质疏松性椎体压缩骨折; 经皮椎体成形术; 椎弓根旁

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2020)02-0133-05

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2020.02.011

Percutaneous Vertebroplasty for Severe Osteoporotic Vertebral Compression Fractures via Unilateral Papapedicular Approach: Report of 42 Cases Luo Tongqing, Hu Zhaozhui, Xie Xiangtao. Department of Spinal Surgery, People's Hospital of Liuzhou, Liuzhou 545006, China

Corresponding author: Luo Tongqing, E-mail: luotongqing2929@sina.com

【Abstract】 Objective To explore the efficacy of percutaneous vertebroplasty (PVP) for severe osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF) via unilateral papapedicular approach. **Methods** A total of 42 cases (42 vertebrae) with severe OVCF were admitted from January 2017 to December 2018. PVP was performed via unilateral papapedicular approach. The vertebral body height was less than 1/3 of the original height. Unilateral papapedicular puncture was performed, and cement was injected after puncture. **Results** The operation was completed successfully in all the 42 cases. The operative duration was 26–45 minutes, the blood loss was less than 5 ml, and volume of bone cement was 1.5–3.5 ml. The bone cement was symmetrically distributed in the vertebrae and no severe complication of puncture was found. Cement leakage occurred in 3 vertebral bodies and the cement leakage rate was 7.1%. All the cases were followed up for 6–12 months. The Visual Analogue Scale (VAS) score was 8.6 ± 0.6 , 3.7 ± 0.5 , and 2.1 ± 0.6 points at preoperation, 1 day after operation, and at the last follow-up, respectively, all of which were much improved after operation ($P=0.000$). The Cobb angle was $9.6^\circ \pm 3.4^\circ$, $8.9^\circ \pm 3.1^\circ$, and $8.9^\circ \pm 2.6^\circ$ at preoperation, 1 day after operation, and at the last follow-up, respectively, all of which were significantly decreased after operation ($P=0.000$). **Conclusion** The procedure of PVP via unilateral papapedicular approach is safe and effective for severe OVCF.

【Key Words】 Severe; Osteoporotic vertebral compression fracture; Percutaneous vertebroplasty; Papapedicular

对于骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF),经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)可以快速显著缓解疼痛,安全有效,易被接受。轻中度压缩骨折穿刺容易,并发症少。重度压缩骨折指椎体压缩 >

$2/3$ ^[1],经椎弓根入路行 PVP 技术要求高^[1-5],且骨水泥渗漏与椎体压缩程度相关^[5]。单侧椎弓根旁入路不经椎弓根,不受椎弓根解剖结构的影响,相对不受压缩程度的影响,单侧穿刺能满足重度压缩骨折的穿刺要求,是相对无血管无神经的穿刺入

* 基金项目:广西壮族自治区卫健委自筹经费科研课题(桂自筹)(Z20170678)

** 通讯作者, E-mail: luotongqing2929@sina.com

路^[6],因而成为重度椎体压缩骨折更好的选择。2017 年 1 月~2018 年 12 月,我科在 C 臂 X 线机动态监测下行椎弓根旁入路 PVP 治疗重度 OVCF 42 例,均获得至少 6 个月随访,疗效满意,报道如下。

1 临床资料与方法

1.1 一般资料

本组 42 例,男 18 例,女 24 例。年龄 61~88 岁,(69.3 ± 3.6) 岁。均有胸背或腰背部剧烈疼痛,翻身、站立、坐立困难,3 例胸椎骨折伴肋间神经痛,无脊髓受压症状及体征。36 例有轻微外伤史如行走时跌倒,6 例咳嗽或起身等动作较大出现骨折。骨折前均生活完全自理。发病至手术时间 3~189 d,中位数 12.5 d。常规行 X 线、CT 扫描重建及 MRI 检查,明确椎体骨折部位、骨折压缩程度、骨折类型、有无椎管内侵占、椎体上下缘及前后壁有无破损、椎弓根发育:累及节段 T_6 1 例, T_7 2 例, T_8 2 例, T_9 3 例, T_{10} 7 例, T_{11} 8 例, L_1 7 例, L_2 6 例, L_3 4 例, L_4 2 例;伤椎压缩比 $< 1/3$,最少 20% (图 1) [用椎体前缘高度表示椎体高度,椎体原高度 = (上位椎体前缘高度 + 下位椎体前缘高度) / 2,伤椎压缩比 = 伤椎前缘高度 / 椎体原高度 $\times 100\%$];骨折椎体无明显椎管内侵占;上终板破裂 2 例,椎体前缘破裂 1 例,椎体后壁破裂 3 例,合并囊性变 9 例。合并高血压 9 例,高血压和冠心病 3 例,糖尿病 2 例,糖尿病和冠心病 3 例,均口服药物控制良好。均行双能 X 线骨密度测定,诊断骨质疏松 (T 值 $< -2.5SD$)。

纳入标准:诊断重度 OVCF (伤椎压缩比 $< 1/3$),责任椎体明确,经药物等非手术治疗无效,有手术指征。

排除标准:椎体骨折伴脊髓神经受压表现;病理性骨折;脊柱感染;不能耐受手术或不可纠正的出血性疾病。

1.2 手术方法

俯卧位,胸腹部垫手术软垫(后凸畸形较重者可改用折叠棉被),调整患者及手术床位置、高低等,保证患者体位舒适以利于老年患者长时间俯卧。术前术中尽量控制血压,收缩压不超过 160 mm Hg。术前利用手术床折叠反曲利于压缩椎体复位。监测生命体征。调整 C 臂 X 线机,正位使患椎下位终板呈一线影(或椎弓根外下穿刺则保证下终板成一线影,椎弓根外上穿刺则保证上终板成一线影),同时双侧椎弓根与棘突等距;侧位显示终板、椎弓根上下缘呈一线影(或椎弓根外下穿刺则保证下终板成一线影,椎弓根外上穿刺则保证上终板成一线影)。尽量选择压缩程度较轻的一侧穿刺。局麻,术前常规肌内注射氯诺昔康 8 mg,必要时肌内注射哌替啶

50 mg。棘突旁开 4~6 cm,定位皮肤穿刺点,用 1% 利多卡因 5~10 ml 局麻浸润直至骨膜,棘突旁开 4~6 cm,外展 $30^\circ \sim 45^\circ$,正位透视穿刺针位于椎弓根外侧、椎弓根外上或椎弓根外下,沿椎弓根方向使其能达到中线即棘突(图 2~4),固定穿刺针。改侧位,调整穿刺针冠状面头倾或尾倾,保证穿刺针尖能达到椎体中线附近或骨折线附近,前后方向能达椎体中前 $1/5 \sim 1/3$ 处,拔出针芯(图 4)。按骨水泥聚甲基丙烯酸甲酯 (polymethyl methacrylate, PMMA) (德国 Heraeus) 粉液比 1:1 配制骨水泥,抽 10 ml 装入加压器,轻推加压器至骨水泥少量通过穿刺通道进入椎体,待骨水泥成丝期开始逐渐加压注射入椎体,C 臂 X 线机正侧位透视监测骨水泥进入椎体情况,有无渗漏及是否过中线等,骨水泥达到椎体中后 $1/3$ 可停止注射,以防漏入椎管(图 5)。术中监测双下肢感觉运动情况(嘱患者活动下肢远端及询问双下肢有无感觉异常)。2~5 min 后取下加压器及注射器,插入针芯,多次旋转穿刺针避免拔出困难,而后拔出,无菌敷料覆盖。

1.3 术后处理

术后 2 h 绝对卧床休息,24 h 内床上活动,常规复查 X 线或 CT 检查了解骨水泥填充情况及有无渗漏等,术后 24 h 后下床活动,并行胸腰背肌功能锻炼。术后第 1 天拍摄正侧位 X 线片观察椎体骨水泥充填情况。按国际标准常规抗骨质疏松治疗终生(利塞膦酸钠 35 mg 每周 1 次,阿法骨化醇片 $0.5 \mu\text{g}$ 每日 1 次)。定期随访复查骨密度及胸腰椎 X 线片。

1.4 临床及影像学评估

记录术中出血量、注入骨水泥的量、手术时间、并发症,有无骨水泥渗漏。采用疼痛视觉模拟评分 (Visual Analogue Scale, VAS) 评估术前、术后 1 d 及末次随访疼痛程度。测量手术前后及末次随访后凸角(伤椎上位椎体上终板与下位椎体下终板直线延长线的交角)。

1.5 统计学方法

采用 SPSS21.0 进行统计学分析处理。手术前后 VAS 评分、椎体高度及后凸角比较采用重复测量的方差分析,两两比较采用 LSD 法, $P < 0.05$ 认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 术中及术后情况

本组均采用单侧椎弓根旁入路,顺利完成手术,手术时间 $26 \sim 45 \text{ min}$, (29.5 ± 7.2) min,术中出血 $< 5 \text{ ml}$,骨水泥注射量 $1.5 \sim 3.5 \text{ ml}$, (2.40 ± 0.58) ml,其中 1 例压缩比仅为 20%,仅注射 1.5 ml,其余骨水泥注射量均 $> 2.0 \text{ ml}$ 。术中无血压明

显下降及需治疗干预的情况发生。无肺栓塞、神经根及脊髓损伤等并发症。术后 1 d 下地行走,1 ~ 3 d 出院。

2.2 临床评估

术后 1 天 41 例翻身、坐立及站立不受限制,平卧时无疼痛,翻身、坐立及站立酸胀痛;1 例翻身、坐立及站立轻度受限,平卧及翻身、坐立及站立酸胀痛。随访 6 ~ 12 个月, (10.8 ± 0.7) 月, 6 例无疼痛,

VAS 评分 0 分, 36 例稍有酸胀痛, 翻身、坐立及站立均不受限制。术后 1 天、末次随访 VAS 均较术前明显降低 ($P = 0.000$), 且末次随访 VAS 也明显低于术后 1 天 ($P = 0.000$) (表 1)。

2.3 影像学评价

术中正侧位透视, 穿刺针尖均达到或超过中线。术中透视、术后复查 X 线片或 (和) CT 均显示骨水泥充填良好, 分布均匀 (图 6), 2 例椎间隙渗漏, 1 例

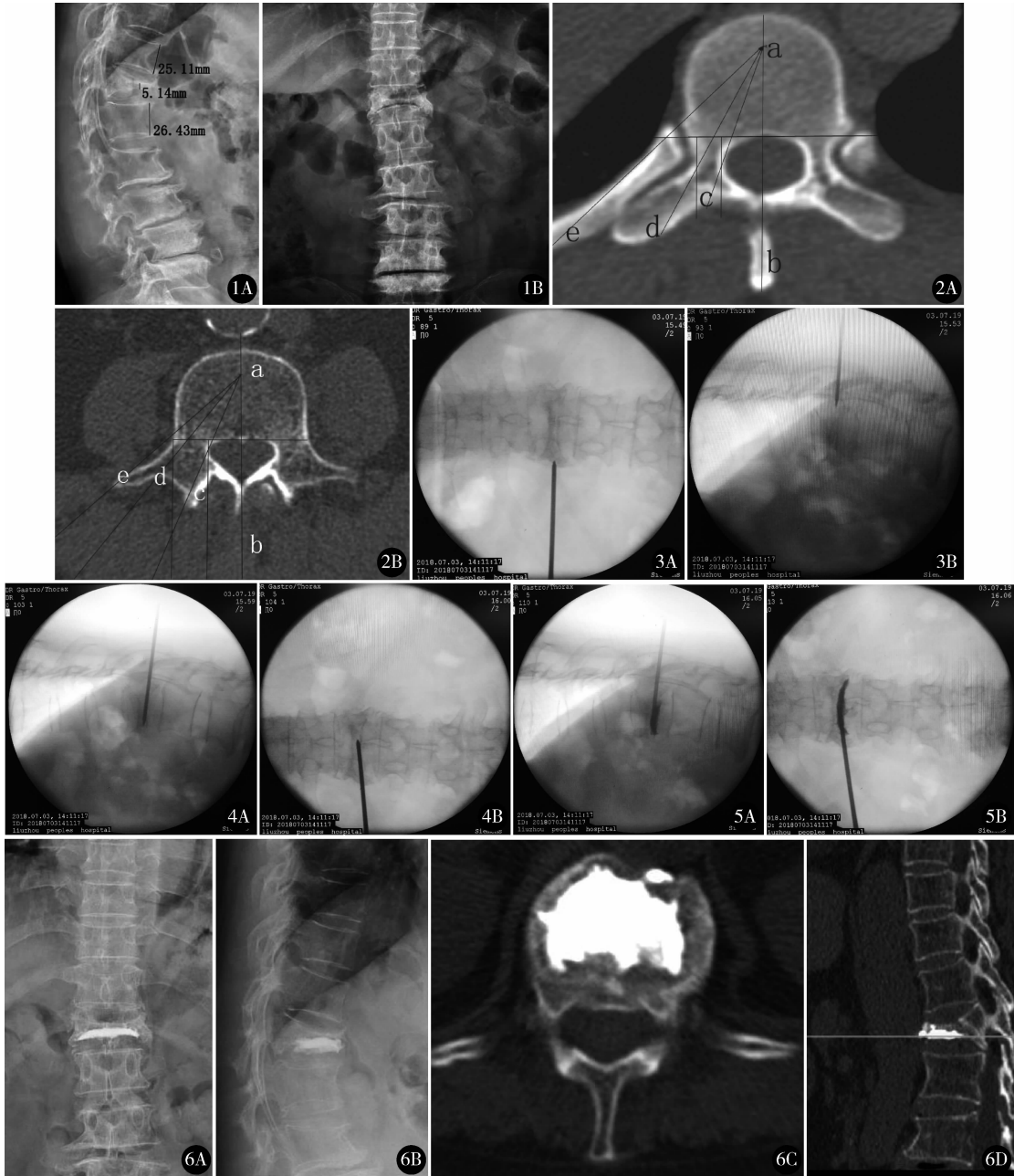


图 1 术前正侧位 X 线片示 T₈ 椎体压缩严重, 相邻上方椎体高 25.11 mm, 下方椎体高 26.43 mm, 伤椎 5.14 mm, 压缩比: 5.14 / [(25.11 + 26.43) / 2] = 20% 图 2 胸椎 (A)、腰椎 (B) 穿刺路径示意图: a 点为椎体前 1/4, ab 线为椎体中线, ac 为穿刺路径最内侧缘, ad 为椎弓根旁入路内侧缘, ae 为穿刺路径最外侧缘, ae 至 ad 为椎弓根旁入路穿刺区域, 胸、腰椎 ∠cab 约 20°, ∠dab 约 30°, ∠eab 约 45° 图 3 定位穿刺方向, 椎弓根外下穿刺入路 图 4 穿刺成功后注射骨水泥前 图 5 注射骨水泥后 图 6 术后第 1 天复查 X 线 (A、B) 和 CT (C、D) 示骨水泥充填良好, 分布对称, 无外渗

椎弓根外侧椎体外穿刺点渗漏,总渗漏率 7.1%,无椎管内渗漏等严重并发症。术后 1 天及末次随访 Cobb 角小于术前 ($P = 0.000$),术后 1 天与末次随访 Cobb 角无统计学差异 ($P > 0.05$) (表 1)。

表 1 手术前后 VAS、Cobb 角比较 ($\bar{x} \pm s, n = 42$)

时间	VAS (分)	Cobb 角 (°)
术前①	8.6 ± 0.6	9.6 ± 3.4
术后 1 d②	3.7 ± 0.5	8.9 ± 3.1
末次随访③	2.1 ± 0.6	8.9 ± 2.6
<i>F, P</i> 值	1861.3, 0.000	24.7, 0.000
<i>P</i> ₁₋₂ 值	0.000	0.000
<i>P</i> ₁₋₃ 值	0.000	0.000
<i>P</i> ₂₋₃ 值	0.000	0.234

3 讨论

椎体成形术包括 PVP 及经皮椎体后凸成形术 (percutaneous kyphoplasty, PKP)。轻、中度椎体压缩骨折行椎体成形术技术成熟,疗效满意,安全可靠,而重度椎体压缩骨折由于椎体压缩程度大,椎体上下缘成角大,椎弓根入路穿刺难度大,技术要求高,骨水泥渗漏率高,被部分文献定为相对禁忌,多数选择保守治疗。Nieuwenhuijse 等^[4]报道重度椎体压缩骨折经椎弓根入路行 PVP 骨水泥渗漏率高达 91.9% (34/37 椎),渗漏的量平均达 0.8 ml/椎 (CT 测量),同期非重度椎体压缩骨折的渗漏率为 64.1% (25/39 椎),认为 PVP 可缓解重度椎体压缩骨折所致疼痛,但技术要求更高,且更多需对侧二次穿刺。骨水泥渗漏与椎体骨壁裂口有明显相关性,而椎体压缩程度及低黏度骨水泥是骨水泥渗漏的强烈危险因素^[5]。PKP 在恢复椎体高度方面有优势^[1,3],PVP 治疗重度椎体压缩骨折在骨水泥渗漏及邻近椎体继发骨折方面有明确的优势^[3,7]。因此,对于重度压缩骨折的椎体成形术迫切需要改进穿刺技术及手术方式,减少骨水泥渗漏。

常规椎体成形以椎弓根入路为主,单侧椎弓根入路由于椎弓根外展角约 15° 限制,穿刺针不能充分外展达到椎体中线前中 1/3 ~ 1/4 (可为 1/5 ~ 1/3) (图 2A、B 中的 a 点) 即靶点,导致骨水泥分布不对称,易导致脊柱不稳继发椎体对侧压缩变形^[8,9]。增加穿刺深度易穿破椎体前缘皮质,增加外展角度易穿破椎弓根内侧皮质,均可能导致骨水泥渗漏。因此,大部分学者采用双侧椎弓根入路注入骨水泥,分布相对对称,但较单侧入路医疗费用增加,手术时间延长,患者及术者的 X 线辐射量增加;其次,由于椎弓根头尾倾角的限制,穿刺针不能很好

地向头尾倾,对于椎体上下缘成角大 (即楔形变大) 的骨折,沿椎弓根方向穿刺容易穿破上终板,导致骨水泥渗漏。我们提出单侧椎弓根旁入路,即从图 2A、B 中 eac 的范围穿刺比 dac 更容易达到靶点 a 点,不易穿破椎弓根内壁,椎弓根旁入路不经椎弓根,无椎弓根的解剖角度限制,外展角更大,头尾倾更自由,甚至可平行终板穿刺。

椎弓根旁的概念来自胸椎椎弓根旁并延伸至腰椎椎弓根旁。Clerk-Lamallice 等^[10]对 1 例螺钉松动引起的腰背痛利用椎弓根旁入路椎体成形加固椎弓根螺钉,效果良好。椎弓根旁入路是以椎弓根外缘为界,从椎弓根外侧、外上或外下不通过椎弓根的穿刺入路,包括椎弓根外侧入路、椎弓根外上及外下入路。外下入路如图 3A、B 所示,通过椎弓根下缘及外缘交点的外侧进入椎体,穿刺针平行于椎体下终板;外上入路通过椎弓根上缘及外缘交点的外侧进入椎体,穿刺针平行于椎体上终板。通过椎弓根旁入路可在重度压缩骨折椎体中线 (术中侧位透视椎体前后缘中点的连线),所以穿刺相对不受椎体压缩程度的影响。临床上由于椎体压缩程度较大,如重度压缩骨折、椎体上下缘成角大即楔形变大、椎弓根内壁破裂及变异等,以及严重骨质疏松、退行性侧弯、旋转等椎弓根显示不清,可椎弓根旁入路完成穿刺,椎弓根显示不清时可参考邻近椎体的椎弓根连线做出椎弓根外缘连线,结合椎体上下缘的位置完成穿刺。

本研究结果表明,椎弓根旁入路行 PVP 治疗重度椎体压缩骨折疗效良好,骨水泥渗漏率仅 7.1%,且为椎间隙及椎体外侧穿刺点渗漏,无椎管内渗漏等严重并发症,技术难度不大,可重复性好。穿刺针进入椎体后达到椎体前中 1/4 为靶点 (可为 1/5 ~ 1/3) 及达到中线或过中线后,通过加压器注射成丝期骨水泥,除伤椎高度仅为原高度 20% 的一例注射 1.5 ml,其余 41 例为 2.0 ~ 3.5 ml。Liebschner 等^[8]的研究表明,骨水泥注射量为椎体容积 15% 能恢复椎体刚度到骨折前水平。Kim 等^[11]的研究表明骨水泥注射量达到椎体体积的 30% 时椎体硬度从骨质疏松状态达到正常状态 (非骨质疏松状态),再增加骨水泥的量容易导致相邻椎体继发骨折。Sun 等^[12]的研究表明骨水泥注射最佳容积为 19.78%,随容积分数的增加,骨水泥渗漏率明显增加;而 Nieuwenhuijse 等^[13]的研究提示最佳容积为 24%。因此我们认为骨水泥的量为椎体容积的 15% ~ 24% 均可以接受,而重度椎体压缩骨折椎体压缩多,容积小,其骨水泥注射量相应减少。

单侧椎弓根旁入路皮肤穿刺点在棘突中线外侧 4 ~ 6 cm,较椎弓根入路 (棘突中线外侧 3 ~ 4 cm) 明

显靠外,椎弓根旁入路外展角度为 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$,较椎弓根入路(椎弓根外展约 20° ,图 2)大,外展角 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 且符合术前 CT(图 2)测量结果。根据解剖学特点、手术要求、术前影像学结果及既往研究结果,本组均采用单侧椎弓根旁入路,术前 CT 及 MRI 定位了解压缩椎体椎弓根外展角度、有无变异等,穿刺时以横突根部为骨性标志感觉穿刺点的位置,在前后位 X 线监视下穿刺针均达到或超出中线,侧位透视穿刺针前缘达到前中 $1/5 \sim 1/3$,为骨水泥充填提供了良好的基础;术后复查 X 线或(和)CT 均提示骨水泥充填良好、均匀,椎管内及血管内无渗漏。由于外展角较大,5 个椎体甚至超过中线,术中待对侧骨水泥充填良好后退穿刺针在同侧继续注入 $0.5 \sim 1.0$ ml 骨水泥。2 例椎间隙渗漏,术前 MR 示伤椎下终板破裂;1 例椎弓根外侧椎体外渗漏,术后复查 CT 提示穿刺点渗漏。术后疼痛基本缓解,术后第 1 天可下地行走,1~3 d 出院,术后及末次随访 VAS 评分较术前明显下降($P=0.000$),术后第 1 天及末次随访 Cobb 角较术前减小,考虑与部分囊性变及术中俯卧体位复位有关,骨水泥填充后伤椎高度有所恢复。

结合国内外研究及本组体会,椎弓根旁入路有以下优点:①不受椎弓根形态、相对不受椎体压缩程度及楔形变的影响,可选择最好的外展及头尾倾角度;②减少通过骨道的距离,减轻术中穿刺所致疼痛,缩短手术时间,减少术中透视次数,尤其穿刺过程中可明显感受到胸腰椎横突和肋骨的骨性解剖标志,给术者提供信心;③由于穿刺点在椎弓根的外侧、外上或外下,不受椎弓根方向即外展及头尾倾角的影响,可保证单侧穿刺达到椎体中线前中 $1/5 \sim 1/3$,甚至越过中线,保证椎体前后及左右骨水泥充填良好,分布均匀;④通过椎弓根旁入路注入适量(如本文提到的 $15\% \sim 24\%$ 伤椎容积)的骨水泥治疗重度椎体压缩骨折效果良好,骨水泥渗漏率低,重复性好。

总之,单侧椎弓根旁入路行 PVP 治疗不伴脊髓神经症状的重度 OVCF,术前准备应充分,包括 MRI 及 CT、X 线片,详细了解椎体压缩程度及楔形变程度,分析穿刺针前端能否到达椎体中线前中 $1/3 \sim 1/5$ 而不突破上下终板,选择合适的椎弓根旁入路,能有效快速解除骨折所致疼痛,并发症少,手术安全,疗效满意。但本研究例数少,随访时间短,有待积累更多病例并进行长期随访。

参考文献

- Lee JK, Jeong HW, Joo IH, et al. Percutaneous balloon kyphoplasty for the treatment of very severe osteoporotic vertebral compression fractures: a case-control study. *Spine J*, 2018, 18(6): 962-969.
- 黎双庆, 杨波, 杨逸禧, 等. 经皮穿刺椎体成形术治疗骨质疏松性严重椎体压缩性骨折. *中国微创外科杂志*, 2015, 15(9): 818-821.
- Wang F, Wang LF, Miao DC, et al. Which one is more effective for the treatment of very severe osteoporotic vertebral compression fractures: PVP or PKP? *J Pain Res*, 2018, 11: 2625-2631.
- Nieuwenhuijse MJ, van Erkel AR, Dijkstra PD. Percutaneous vertebroplasty in very severe osteoporotic vertebral compression fractures: feasible and beneficial. *J Vasc Interv Radiol*, 2011, 22(7): 1017-1023.
- Ding J, Zhang Q, Zhu J, et al. Risk factors for predicting cement leakage following percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3411-3417.
- Beall DP, Braswell JJ, Martin HD, et al. Technical strategies and anatomic considerations for parapedicular access to thoracic and lumbar vertebral bodies. *Skeletal Radiol*, 2007, 36(1): 47-52.
- Kurutz M, Varga P, Jakab G. Prophylactic vertebroplasty versus kyphoplasty in osteoporosis: a comprehensive biomechanical matched-pair study by in vitro compressive testing. *Med Eng Phys*, 2019, 65: 46-56.
- Liebschner MA, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(14): 1547-1554.
- Jacobson RE, Nenov A, Duong HD. Re-expansion of osteoporotic compression fractures using bilateral SpineJack implants: early clinical experience and biomechanical considerations. *Cureus*, 2019, 11(4): e4572.
- Clerk-Lamalice O, Irani Z, Growney M, et al. Parapedicular vertebral augmentation with polymethylmethacrylate for pedicle screw loosening. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11(9): e7.
- Kim JM, Shin DA, Byun DH, et al. Effect of bone cement volume and stiffness on occurrences of adjacent vertebral fractures after vertebroplasty. *Korean Neurosurg Soc*, 2012, 52(5): 435-440.
- 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. *World Neurosurg*, 2018, 114: e677-e688.
- Nieuwenhuijse MJ, Bollen L, van Erkel AR, et al. Optimal intravertebral cement volume in percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2012, 37(20): 1747-1755.

(收稿日期: 2019-08-01)

(修回日期: 2019-12-13)

(责任编辑: 王惠群)