

· 老年人脊柱疾病专栏 ·

单侧入路经皮椎体后凸成形术治疗老年人脊柱脆性骨折

王增顺, 伍 骥*, 黄蓉蓉, 崔玉明, 郑 超

(空军总医院骨科, 北京 100142)

【摘要】目的 探讨单侧入路经皮椎体后凸成形术 (PKP) 治疗老年人脊柱脆性骨折的有效性。**方法** 2009 年 1 月至 2011 年 1 月, 使用经皮椎体后凸成形 PKP 工具包治疗 20 例 34 个椎体椎体脆性骨折。记录手术前后椎体前缘高度、Cobb's 角、VAS 评分, 术后 2d、随访末与术前进行比较。并记录并发症。**结果** 20 例 34 个椎体顺利完成单侧 PKP 手术, 手术过程顺利。20 例均获随访, 随访时间 10~20 个月, 平均 15.5 个月。术前椎体前缘高度 (17.68 ± 3.33) mm, 术后 (30.94 ± 3.22) mm, 术前、术后比较, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$); 术前视觉疼痛模拟评分 (VAS) (7.15 ± 1.17) 分, 术后 2d 及末次随访时 VAS 分别为 (2.20 ± 0.53) 分和 (2.10 ± 0.45) 分, 与术前比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 术后 2d 与末次随访比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。Cobb's 角从术前平均 ($21.53^\circ \pm 5.22^\circ$) 减小至术后 ($7.35^\circ \pm 2.16^\circ$), 手术前后比较, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。1 例 1 个椎体术中发生骨水泥外漏至椎管 (2.9%), 随访中无明显临床症状。继发骨折 2 例 2 个椎体 (5.9%), 均再次入院行 PKP 手术治疗。**结论** 单侧入路 PKP 是治疗老年脊柱脆性骨折安全有效的方法, 与传统双侧 PKP 相比较, 在缓解疼痛、椎体高度恢复、Cobb's 角恢复等效果接近, 但能够减少一半患者暴露在放射线中的机会, 降低手术费用, 减少手术时间, 提高老年人生活质量。

【关键词】 经皮椎体后凸成形术; 老年脊柱脆性骨折; 单侧

【中图分类号】 R681.5

【文献标识码】 A

【DOI】 10.3724/SP.J.1264.2012.00188

Unipedicular percutaneous kyphoplasty for treatment of vertebral fragility fractures in the elderly

WANG Zengshun, WU Ji*, HUANG Rongrong, CUI Yuming, ZHENG Chao

(Department of Orthopedics, Chinese PLA Air Force General Hospital, Beijing 100142, China)

【Abstract】 Objective To evaluate the clinical outcomes and efficiency of the unipedicular percutaneous kyphoplasty(PKP) in vertebral fragility fractures. **Methods** A prospective observational study was performed. Twenty patients with a total of 34 vertebral compression fractures underwent kyphoplasty utilizing a unilateral pedicular/unipedicular approach. The vertebral bodies were measured at the anterior margins. And visual analog scale(VAS), Cobb's angle were compared preoperatively, at day 2 and the end of follow-up postoperatively. Complications were recorded. Height restoration, pain relief and Cobb's angle change were assessed pre-and post-operatively. **Results** Twenty patients underwent unipedicular PKP for a total of 34 levels. The mean duration of follow-up was 15.5 months (ranging 10 to 20 months). The mean pre-operative anterior vertebral height was (17.68 ± 3.33)mm and postoperative one was (30.94 ± 3.22)mm, which was significantly different ($P < 0.05$). The mean VAS was (7.15 ± 1.17), (2.20 ± 0.53) and (2.10 ± 0.45) preoperatively, at day 2, and at the end of follow-up respectively, with significant difference between the 3 time points ($P < 0.05$). The VAS change had no statistical significance between day 2 and the end of follow-up time point ($P > 0.05$). The Cobb's angle decreased from ($21.53^\circ \pm 5.22^\circ$) to ($7.35^\circ \pm 2.16^\circ$), with statistical significance ($P < 0.05$). Cement extravagation was observed in one asymptomatic case (2.9%). Adjacent vertebral fractures were observed on 2 levels (5.9%) in 2 cases, who underwent kyphoplasty again. **Conclusions** Unipedicular PKP is both a safe and efficacious alternative to the traditional bipedicular kyphoplasty for the treatment of painful vertebral fragility fractures. And it is comparable with bipedicular kyphoplasty in height restoration, pain relief and Cobb's angle change. And also, it is faster, less expensive and involves less radiation exposure for the patient. It improves the life quality of the involved elderly cases.

【Key words】 percutaneous kyphoplasty; vertebral fragility fracture; unipedicular

随着社会发展,老年人口增多,老年脊柱脆性骨折的发病率明显增加。老年脊柱脆性骨折的保守治疗包括镇痛、卧床、支具保护等,但是效果并不理想,患者卧床时间较长,易导致骨质疏松程度加重,并导致长期卧床的其他并发症。尽管保守治疗的并发症发生率与经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)治疗相当,但死亡率将增加近两倍之多^[1]。现行的标准 PKP 技术是通过两侧椎弓根外或椎弓根入路,建立双侧穿刺通道进入椎体,置入 2 枚球囊。通过球囊的扩张恢复压缩椎体的高度,并通过注入骨水泥(丙烯酸树脂骨水泥)强化椎体,恢复椎体解剖学及组织学形态和力学性能,达到了微创、迅速止痛、早期活动的治疗目的,提高了老年人生活质量,并为后续骨质疏松症的药物治疗提供了前提和基础。但传统双侧入路 PKP 治疗手术时间长,手术创伤较大,透视放射线量多,骨水泥注入量多,相应的骨水泥毒副作用也将增加。虽然国内少有因双侧入路 PKP 的缺点而发生严重并发症的报道,但老年人存在心血管疾病以及呼吸系统疾病较多,不能耐受长时间卧位的手术姿势。因此,为了保证在局部麻醉下完成手术并保证老年患者的安全,我们自 2009 年 1 月至 2011 年 1 月尝试采用单侧 PKP 术治疗老年脊柱脆性骨折 20 例,取得了良好的临床疗效,现报道如下。

1 对象与方法

1.1 对象

本组男 6 例,女 14 例,年龄 64~90 岁,平均 73.35 岁。出现脊柱轴心性疼痛时间 2h~10 周。20 例均有轻微外伤史。疼痛部位与放射学检查发现一致,局部明显叩击痛。2 例胸椎脆性骨折患者胸部疼痛不适。所有患者无脊髓及神经根损伤临床表现,无凝血功能异常等禁忌证。行脊柱正、侧位 X 线片、MRI 检查,骨密度检测: $T \leq -2.5$ 。术前 MRI 的 T_1 、 T_2 及抑脂相显示骨髓水肿征象。受累椎体: T_7 1 个, T_{10} 2 个, T_{11} 3 个, T_{12} 11 个, L_1 6 个, L_2 7 个, L_3 4 个,总计 34 个椎体。单椎体 8 例,双椎体 10 例,三椎体 2 例。术前视觉疼痛模拟评分(visual analogue scale, VAS)为 (7.15 ± 1.17) 分,术前椎体前缘高度 (17.68 ± 3.33) mm,术前 Cobb's 角 $(21.53^\circ \pm 5.22^\circ)$ (图 1, 图 2)。入院第三天行手术治疗,术中使用椎体后凸扩张成型器工具包为美国进口 Kyphon 公司。

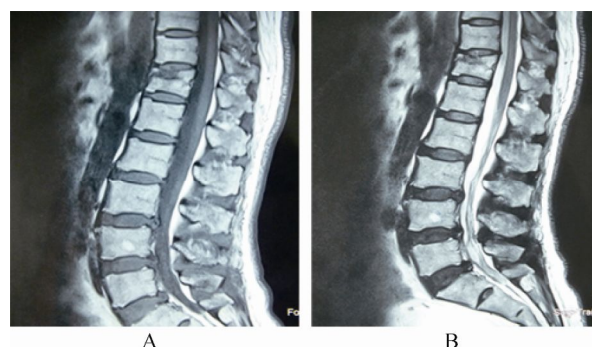


图1 腰椎核磁示71岁女性患者胸12椎体脆性骨折
Figure 1 Fragility fracture of T12 shown by magnetic resonance imaging in a 71 year-old female patient
A: T1 相; B: T2 相

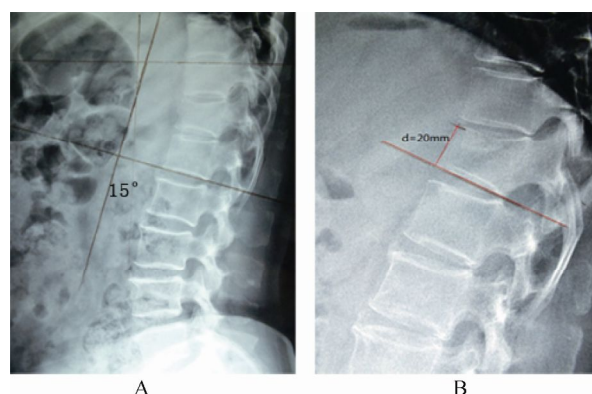


图2 71岁女性患者在脊柱侧位X线检查片上测得的Cobb's角与椎体前缘高度
Figure 2 Cobb's angle(15°) and anterior vertebral height(20mm) shown by X-Ray in the 71 year-old female patient
A: Cobb's 角 15° ; B: 椎体前缘高度(20mm)

1.2 手术方法

20 例患者均在局部麻醉下手术,术前 30min 静脉滴注抗生素预防感染,术中心电监护,俯卧于透视手术床上。本组中根据椎体塌陷程度及椎弓根大小选择手术穿刺侧,采用单侧穿刺和注射骨水泥。C 臂 X 线机前后位透视定位骨折椎体小关节突。在胸椎肋横关节体表投影外侧 1cm 处,切大约长 0.5cm 切口。穿刺针插入探查骨性结构标志,于胸椎横突和肋骨关节间隙,穿刺针进入横突内 3~5mm。正、侧位严密透视下调整针位置和方向,避免脊髓、血管神经损伤,确保针尖经椎弓根外上方抵达椎体后壁时正位透视位于椎弓根内,并且确保穿刺针在正位透视时位于椎弓根上半部分,侧位透视时由外侧向内侧倾斜。保持穿刺针与椎体矢状面成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 左右夹角,侧位透视下针尖到达椎体中后 1/3 交界处时,正位像针尖到达的位置尽量靠近椎体中心线,甚至略超过中线,停止进针。取出针芯,插入导针,沿导针插入工作通道至椎体后壁前方 5~10mm 处

即可。使用骨钻手动钻至椎体前 1/4 部分, 正位透视明确钻头已过中线。取出骨钻, 留取标本。置入球囊, 根据骨折形态调整球囊位置, 侧位透视下球囊尖端理想位置是位于椎体的前 3/4。逐步扩张球囊并透视观察。骨质疏松明显的椎体压力达一定值后, 注意控制球囊扩张程度, 分次打压扩张球囊, 每次扩张球囊后持续保持压力 3~5min, 压力不超过 250 kPa。在上终板骨折的椎体, 球囊位置尽量靠近上终板, 同样在下终板骨折的椎体靠近下终板。在上下终板都压缩的椎体放置中央, 这样有利于椎体高度最大限度的恢复。避免在低压情况下过度扩张导致椎体终板破裂。抽出造影剂后取出球囊, 调配聚甲基丙烯酸甲酯骨水泥注入推杆, 在团状初期骨水泥时将推杆置于椎体前 1/4 处, 待骨水泥拉丝期, 开始低压注射骨水泥, 侧位透视动态观察骨水泥充填, 并逐步后退推杆。正、侧位透视观察骨水泥分布满意时停止注射。推注骨水泥过程中严密观察生命体征, 了解下肢功能情况。在骨水泥凝固前旋转工作通道后拔除, 缝合切口后敷贴覆盖。腰椎骨折经椎弓根内穿刺, 穿刺针距正中线 3.5~4.0cm, 但具体需要前后位透视确定小关节突关节的体表投影距离。腰椎穿刺法与胸椎不同, 在横突外 1/3 外侧 1cm 处, 切大约长 0.5cm 切口, 保持穿刺针与椎体矢状面成 30°~45° 夹角, 偏向椎弓根外侧进入, 穿刺及定位要领跟传统双侧经皮 PKP 手术一致。

1.3 术后处理及评价

所有患者平卧观察 15 min, 生命体征平稳, 下肢活动良好。术后建议卧床 1d。使用骨质疏松治疗药物。摄正、侧位 X 线片, 检查骨水泥有无外溢。并与术前 X 线片比较, 观察伤椎前柱平均高度变化及 Cobb 角。记录手术时间、骨水泥注射量和住院时间, 采用 VAS 法评定手术前后疼痛程度的变化, 10 分代表最痛, 0 分代表无任何疼痛。通过拍摄胸腰段脊柱正侧 X 线片了解伤椎高度丢失及骨折愈合情况。通过计算手术前后伤椎前柱高度的变化以及 Cobb 角的变化评估伤椎的复位情况。通过上述指标的比较分析, 评估 PKP 术治疗脊柱脆性骨折的疗效。术后随访 10~20 个月。

1.4 统计学处理

采用 SPSS17.0 统计软件进行分析。两组治疗前、后 VAS 评分比较, 采用重复测量资料的方差分析。治疗前后 VAS 评分比较、手术前后椎体前缘高度、脊柱后凸 Cobb's 角均采用配对 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

20 例 34 个椎体手术过程顺利。术中球囊最大扩张压力为 (120.88 ± 48.20) kPa, 球囊扩张容积为 (2.16 ± 0.73) ml; 每个椎体手术时间 PKP 为 (40.1 ± 8.7) min; 骨水泥填充量胸椎 (3.10 ± 0.65) ml, 腰椎 (2.55 ± 0.74) ml。术后住院时间 (3.86 ± 1.8) d。20 例均获随访, 随访时间 10~20 个月, 平均 15.65 个月。术后 2 d 及末次随访时 VAS 评分分别为 (2.20 ± 0.53) 分和 (2.10 ± 0.45) 分, 与术前比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 术后 2 d 与末次随访比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 术前椎体前缘高度 (17.68 ± 3.33) mm、Cobb's 角 $(21.53^\circ \pm 5.22^\circ)$, 术后分别为 (30.94 ± 3.22) mm、 $(7.35^\circ \pm 2.16^\circ)$, 手术前后比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$; 图 3)。1 例 1 个椎体术中发生骨水泥外漏至椎管 (2.9%), 无明显临床症状。继发骨折 2 例 (5.9%), 均再次入院行单侧 PKP 手术治疗。

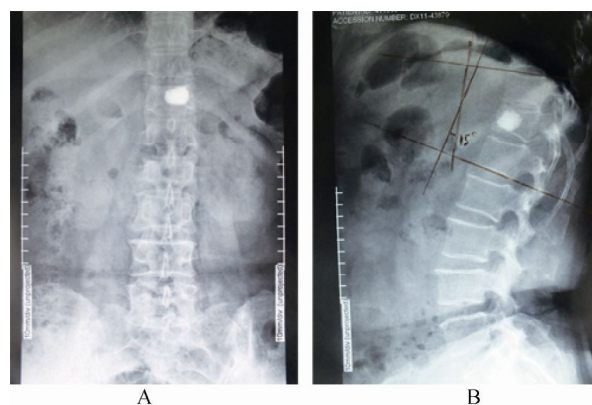


图3 71岁女性患者术后第2天脊柱正侧位X线片
Figure 3 Spinal antero-posterior and lateral view under X-Ray on day 2 postoperatively in the 71 year-old female patient
A: 正位; B: 侧位

3 讨论

脊椎脆性骨折是骨质疏松症患者特有的骨折。“脆性骨折”的发生反映了骨质疏松症的严重程度, 是由于老年人骨质丢失造成骨量减少和骨结构退行病变导致骨力学下降所致。Wong 等^[2]于 1998 年首次实施 PKP 手术。使用球囊在椎体中扩张后产生较大空腔, 骨水泥主要填充空腔, 填充量较大, 一般为 4~6ml, 因此, 密度较高, 致密, 从而使椎体高度恢复, 纠正椎体后凸畸形, 恢复脊柱序列。同时, 由于扩张后空腔周围松质骨被挤压变实, 骨小梁间空隙减少或者消失, 在低压下注入粘稠度较高的骨水泥, 因此基本不向周围弥散。传统 PKP 是在 X 线

透视下,进行双侧椎弓根穿刺和 2 枚球囊同时扩张。与其比较,单侧 PKP 球囊扩张时可以将疏松的骨质向对侧推挤,提高对侧的骨密度,注射的骨水泥可越过中线渗入对侧松质骨,获得锚固的效果。减少手术步骤和时间,手术操作变得更加快捷,从而降低了手术风险,减少了皮肤切口,并极大地节约了手术费用。Steinmann 等^[3]体外尸体椎体压缩骨折的生物力学研究提示,单侧 PKP 在椎体高度、椎体硬度、刚度及后凸角度恢复方面,可以达到与双侧 PKP 相媲美的效果,而且并没有因为穿刺外展角的增大而带来更大及更多的并发症。在本组患者中,平均每个椎体手术时间为 (40.1 ± 8.7) min。由于术者为初次操作,在单侧穿刺方面经验不足,而且单侧穿刺要求比较高,需确保球囊靠近中线,术中需多次透视调整穿刺角度,所以时间较长,需要的透视次数也增多。另外,在操作中,为了避免医务人员直接暴露在放射线环境中,我们采用在防护铅板后远程透视,因此,在每个椎体完整操作时间会变长。随着单侧 PKP 手术开展例数的增多,经验将越来越丰富,手术时间、透视次数及透视量将会更进一步减少。

本组中只有一个椎体向椎管内出现少量骨水泥渗漏(2.9%),低于 Hulme 等^[4]文献回顾性调查双侧 PKP 骨水泥渗漏率(9%)。术中及术后随访中,未发现明显神经及脊髓受压的临床体征。对骨水泥发生渗漏的原因分析:第一,椎体后壁存在骨折,在球囊扩张后,虽然将松质骨挤压后形成更为严实的囊腔,但是后壁骨折的存在,在囊壁后侧仍有裂缝,在一定张力下注入骨水泥后,出现椎管内骨水泥渗漏。因此,为了避免此类问题造成骨水泥渗漏,怀疑有后壁骨折的,需要在术前常规行 CT 检查证实。第二,由于操作者经验方面的欠缺,虽然球囊的放置靠近中央,但是可能靠近椎体后方,在球囊扩张过程中造成椎体后壁破损。再者,本组并非大样本对照研究,所以骨水泥发生率较低。然而,通过术前详细检查、术中仔细操作规避高危因素,可以减少骨水泥渗漏,以及因骨水泥渗漏而带来的毒性反应,如肌肉疼痛、全身性的毒性反应和致命的肺栓塞等^[5-7]。另外,骨水泥进入椎管内的概率通常比较低(0.4%~4%),一旦发生,也多为自限性的,但很有可能会压迫脊髓及神经根^[8,9]。在手术过程中,控制骨水泥的注入量是避免骨水泥渗漏的关键,因为骨水泥的注入量和患者的疼痛缓解程度并不呈正相关,而和骨水泥的渗漏呈正相关^[10]。双侧注射骨水泥,在理论上讲,由于穿刺次数及骨水泥量的

增加,将增加骨水泥的渗漏,但据文献报道,两者在骨水泥渗漏的发生率上,并没有显著差别^[4,11]。因此,在 PKP 术过程中需要注意球囊扩张压力、骨水泥注入时的粘稠度以及 C 臂机的动态监视,不必追求骨水泥的注入量,可有效回复椎体高度,纠正力线,明显缓解腰背部疼痛,骨水泥渗漏少,神经损害风险低。若注入较多骨水泥仍无阻力感时,应该警惕骨水泥已经渗漏至椎体外。

患者术后疼痛缓解明显,术前 VAS 评分为 (7.15 ± 1.17) 分,经单侧 PKP 手术治疗后明显提高,术后 2d 为 (2.20 ± 0.53) 分,明显缓解率为 87%,随访末 VAS 评分为 (2.10 ± 0.45) 分,与术后 2d 相比,数值略有下降,但无统计学意义。目前公认 PKP 最为确切的止痛机制是从生物力学上稳定了受累的椎体。通过充填骨水泥,使其沿着骨小梁间隙弥散至整个或部分椎体,固定了椎体的微骨折,增强了椎体的稳定性,有效防止了骨折部位的微动,从而限制了对局部痛觉末梢神经的刺激,防止了与椎体微骨折相关的疼痛^[12]。由于患者疼痛的缓解,再有脊柱畸形矫正,患者肺功能、胃肠功能等明显恢复,与文献报道一致,这对提高生命质量、降低死亡率以及患者身心健康有非常好的作用。

在 PKP 手术中,椎体的高度恢复对手术近期效果及远期效果有很重要的作用。在本组中,椎体前缘高度恢复平均 13.26mm,恢复丢失高度的 76.6%。与文献报道中相近。Garfin 等^[13]报道在椎体发生骨折 3 个月内行 PKP 手术恢复高度和减少后凸畸形,椎体前缘高度从术前的均值 83%上升到 99%。椎体的复位程度主要取决于骨折的时间,新鲜骨折往往复位满意,而陈旧性骨折则复位非常困难^[14]。Crandall 等^[15]在对比 PKP 治疗新鲜骨折与陈旧性骨折的研究中发现,在骨折后 10 周以内 PKP 治疗恢复到椎体高度的 80%是骨折 4 个月以上接受 PKP 治疗椎体高度恢复的 5 倍,仅有 20%的陈旧性椎体压缩骨折通过 PKP 治疗后椎体高度恢复丢失高度 89%以上。因此,在脊柱椎体脆性骨折的患者,建议在 10 周内进行治疗,可有效恢复椎体高度。手术体位也可能影响骨折的复位,新鲜椎体脆性骨折在 PKP 术中常规采用俯卧位,胸部和髋部垫枕,使躯体过伸,更有利于椎体高度的恢复和后凸畸形的矫正。

在本组患者随访中,因再发椎体骨折入院行 PKP 治疗 2 例(5.9%)。均因轻微外伤史或者疼痛加重再次入院。入院再次行单侧 PKP 手术治疗,再次手术后不再列入本组随访病例。发生率与文献中报道的双侧 PKP 椎体再发骨折 4.4%~19.2%相

近^[16-18]，但仍然较低。可能的原因在于，随访者多为老年人，本身活动能力较差，在术后减少了日常活动。至于患者发生相邻椎体骨折的原因，第一，由于在就诊之前，患者接受长期的保守治疗，导致骨质疏松更加严重，并未行系统的抗骨质疏松治疗。第二，与新鲜骨折相比，陈旧性骨折的患者骨密度更低。因此，在陈旧性骨折中，更容易发生邻近椎体骨折。第三，可能与手术本身相关。由于 PKP 手术临近椎体，继发骨折发生率较高。对此类原因及机制研究较多，据文献报道相邻椎体骨折可能与骨水泥渗漏进入相邻椎间盘有关^[19,20]。这与球囊扩张中过度加压，导致终板骨折破裂，从而在骨水泥注入过程中进入椎间盘。由于缺乏大样本长期随访病例，骨水泥注入后造成不正常的硬度是否能增加相邻椎体骨折的可能性仍然不能确定。Baroud 等^[21]利用脊柱有限元模型观察椎体强化后终板的形态变化及对应力传到的影响，显示终板下刚硬的骨水泥起垂直柱作用，减少了强化椎体终板的生理内凹，导致椎间盘内压力增高 19%，限制了小关节突关节的活动度。椎间盘通过向邻近椎体转移机械负荷减少压力，增加了相邻节段椎体的机械负荷，使相邻负荷增加 17%，从而引发相邻节段椎体的骨折^[22,23]。Belkoff 等^[24]研究发现 PKP 球囊扩张后凸成形成在恢复椎体高度基础值的 97% 的同时，可使椎体恢复起始的硬度。这也说明了 PKP 有较高的邻近椎体继发骨折的原因。依据我们的经验，为减低相邻椎体继发椎体脆性骨折，建议患者出院后继续佩戴腰部支具保护下进行活动。再者，建议患者进行系统的抗骨质疏松治疗。

传统 PKP 是进行双侧椎弓根穿刺和 2 枚球囊同时扩张，来恢复椎体高度及后凸角度。在手术过程中，需要两个球囊，这无疑将增加患者住院费用。Steinmann 等^[3]研究发现，在美国只有 5% 椎体压缩骨折患者接受单侧 PKP 治疗。仅此项单侧 PKP 手术可每年节约近 3200 万美元治疗费用。他发现单侧单节段可节约 886 美元，双节段 1901 美元。如果在多节段手术中，保证单个球囊不破损的前提下重复使用，则更能节省费用。在我们的以往经验中，单侧 PKP 较双侧 PKP 节省至少 40% 的住院费用，这将明显减少社会、家庭及个人的经济负担。因此，单侧 PKP 不仅能够与双侧 PKP 有同样的手术效果，并在减少患者住院费用方面，明显比双侧 PKP 术有很大的优势。

总之，与传统的治疗方法相比，PKP 治疗骨质疏松性胸腰椎脆性骨折，具有疗效突出，手术时间

短，安全性高，操作方便的特点，是一种治疗骨质疏松性胸腰椎脆性骨折有效的微创手术。单侧 PKP 治疗老年脊柱脆性骨折，与双侧 PKP 相比，在短期随访中有相同的治疗效果。但减少一半患者暴露在放射线中的机会，并减少手术创伤及其带来的可能并发症，降低手术费用，减少手术时间，这对那些不耐受长时间俯卧位的老年患者来说，单侧 PKP 是最佳选择。

【参考文献】

- [1] Zampini JM, White AP. Comparison of 5766 vertebral compression fractures treated with or without kyphoplasty[J]. Clin Orthop Relat Res, 2010, 468(7): 1773-1780.
- [2] Wong W, Reiley W, Grafin S. Vertebroplasty/kyphoplasty[J]. Womens Imagin, 2002, 2(1): 117-124.
- [3] Steinmann J, Tingey CT, Cruz G, et al. Biomechanical comparison of unipedicular versus bipedicular kyphoplasty[J]. Spine, 2005, 30(2): 201-205.
- [4] Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies[J]. Spine, 2006, 31(17): 1983-2001.
- [5] Padovani B, Kasriel O, Brunner P, et al. Pulmonary embolism caused by acrylic cement: a rare complication of percutaneous vertebroplasty[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1999, 20(3): 375-377.
- [6] François K, Taeymans Y, Poffyn B, et al. Successful management of a large pulmonary cement embolus after percutaneous vertebroplasty: a case report[J]. Spine, 2003, 28(20): E424-425.
- [7] Chen HL, Wong CS, Ho ST, et al. A lethal pulmonary embolism during percutaneous vertebroplasty[J]. Anesth Analg, 2002, 95(4): 1060-1062.
- [8] Taylor RS, Fritzell P, Taylor RJ. Balloon kyphoplasty in the management of vertebral compression fractures: an updated systematic review and meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2007, 16(8): 1085-1100.
- [9] Lee B, Franklin I, Lewis JS, et al. The efficacy of percutaneous vertebroplasty for vertebral metastases associated with solid malignancies[J]. Eur J Cancer, 2009, 45(9): 1597-1602.
- [10] Martin JB, Jean B, Sugiu K, et al. Vertebroplasty: clinical experience and follow up results[J]. Bone, 1999, 25(2S): S11-15.
- [11] Papadopoulos EC, Edobor-Osula F, Gardner MJ, et al. Unipedicular balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: early results [J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21(8): 589-596.
- [12] Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization[J]. Spine, 2000, 25(9): 923-928.

- [13] Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures[J]. Spine, 2001, 26(14): 1511-1515.
- [14] Hadjipavou AG, Tzermiadianos MN, Katonis PG, *et al.* Percutaneous vertebroplasty and balloon kyphoplasty for treatment of osteoporotic vertebral compression fractures and osteolytic tumours [J]. J Bone Joint Surg(Br), 2005, 87(12): 1595-1604.
- [15] Crandall D, Slaughter D, Hankins PJ, *et al.* Acute versus chronic vertebral compression fractures treated with kyphoplasty: early results[J]. Spine J, 2004, 4(4): 418-424.
- [16] Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, *et al.* Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture[J]. JAMA, 2001, 285(3): 320-323.
- [17] Ledlie JT, Renfro MB. Kyphoplasty treatment of vertebral fractures: 2-year outcomes show sustained benefits[J]. Spine, 2006, 31(1): 57-64.
- [18] Harrop JS, Prpa B, Reinhardt MK, *et al.* Primary and secondary osteoporosis incidence of subsequent vertebral compression fractures after kyphoplasty[J]. Spine, 2004, 29(19): 2120-2125.
- [19] Lin EP, Ekholm S, Hiwatashi A, *et al.* Vertebroplasty: cement leakage into the disc increases the risk of new fracture of adjacent vertebral body[J]. AJNR, 2004, 25(2): 175-180.
- [20] Komemushi A, Tanigawa N, Kariya S, *et al.* Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fracture: multivariate study of predictors of new vertebral body fracture[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2006, 29(4): 580-585.
- [21] Baroud G, Nemes J, Heini P, *et al.* Load shift of the intervertebral disc after a vertebroplasty: a finite element study[J]. Eur Spine J, 2003, 12(4): 421-426.
- [22] Baroud G, Bohnner M. Biomechanical impact of vertebroplasty. Postoperative biomechanics of vertebroplasty [J]. Joint Bone Spine, 2006, 73(2): 144-150.
- [23] Keller TS, Kosmopoulos V, Lieberman IH. Vertebroplasty and kyphoplasty affect vertebral motion segment stiffness and stress distributions: a microstructural finite-element study[J]. Spine, 2005, 30(11): 1258-1265.
- [24] Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, *et al.* An *ex vivo* biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture [J]. Spine, 2001, 26(2): 151-156.

(编辑: 王雪萍)