

临床论著

经皮椎体强化术治疗无神经症状
Kümmell 病的中长期疗效唐永超¹, 莫国业¹, 张顺聪², 梁 德², 郭丹青², 李永贤¹, 杨志东², 江晓兵², 李大星¹, 郭惠智¹

(1 广州中医药大学第一临床医学院; 2 广州中医药大学第一附属医院脊柱专科 510405 广州市)

【摘要】目的:探讨经皮椎体强化术治疗无神经症状 Kümmell 病的中长期疗效。**方法:**回顾性分析 2009 年 6 月~2013 年 6 月采用经皮椎体强化术治疗且随访时间>2 年的 32 例无神经症状 Kümmell 病患者的临床资料, 其中男 4 例, 女 28 例, 年龄 69.95 ± 7.72 岁 (56~87 岁), 骨密度 T 值 $-3.43 \pm 0.22SD$ ($-2.5 \sim -5.1SD$)。记录术前、术后 3d 及末次随访时的 VAS 评分、Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI)、伤椎椎体前缘高度、伤椎椎体中线高度、伤椎局部矢状位 Cobb 角、骨水泥强化椎体形态学改变等。**结果:**7 例患者出现骨水泥渗漏, 未出现明显临床症状。随访时间为 2.81 ± 0.97 年 (2~6 年)。椎体强化术后 3d 伤椎椎体高度和局部后凸角度与术前相比均得到显著改善 ($P < 0.05$); 末次随访时, 复位的椎体出现再塌陷, 局部后凸角度加重 ($P < 0.05$)。术后 3d VAS 评分和 ODI 与术前相比均显著下降 ($P < 0.05$), 末次随访时与术后 3d 比较均无统计学差异 ($P > 0.05$)。随访过程中, 所有患者骨水泥椎体均与相邻椎体自发性融合, 6 例出现骨水泥碎裂和移位, 8 例骨水泥周围出现透亮线。**结论:**椎体强化术治疗无神经症状的 Kümmell 病术后即刻疗效显著, 但中长期随访时, 骨水泥强化椎体出现塌陷及后凸角度增大, 不能提供足够的稳定。

【关键词】Kümmell 病; 椎体强化术; 骨质疏松

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.01.06

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2018)-01-0038-06

Mid-to-long term efficacy analysis of percutaneous vertebral augmentation applied on the Kümmell's disease without neurological deficit/TANG Yongchao, MO Guoye, ZHANG Shuncong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(1): 38-43

【Abstract】Objectives: To evaluate the mid-long term efficacy and safety of percutaneous vertebral augmentation(PVA) applied on the Kümmell's disease without neurological deficit. **Methods:** From June 2009 to June 2013, 32 patients(4 males and 28 females, 69.95 ± 7.72 years old on average) with Kümmell's disease of non-neurological deficit receiving percutaneous vertebral augmentation were reviewed. The average T score of bone mineral density was $-3.43 \pm 0.22SD$. The radiological variations including the Cobb angle, anterior and middle height of index vertebra and the type of bone-cement distribution obtained from X-ray were recorded preoperatively, at 3 days postoperatively and the final follow-up. Meanwhile, the visual analogue scale(VAS) and Oswestry disability index(ODI) scores were also evaluated. **Results:** The average follow-up time was 2.81 ± 0.97 years(2-6 years). 7 cases were observed with asymptomatic bone-cement leakage. The vertebral height and the Cobb angle significantly improved after operation($P < 0.05$), however, aggravated at the final follow-up($P < 0.05$). The ODI and VAS scores decreased significantly after operation($P < 0.05$), but increased a little without significant difference at the final follow-up compared with those at 3 days postoperatively. In addition, three types of morphological changes of bone-cement vertebrae were detected: (1)spontaneous fusion with adjacent vertebrae occurring in all cases; (2)cement fragmentation or migration found in 6 cases; (3)bright lines found in 8 cases. **Conclusions:** PVA in treatment of the Kümmell's disease without neurological deficit obtains a significant short-term efficacy. However, PVA is unable to provide adequate stability in mid-long term follow-up,

基金项目:广东省科技厅课题资助项目(编号:2016A020215137)

第一作者简介:男(1983-),主治医师,医学硕士,研究方向:骨质疏松相关脊柱病

电话:(020)36591604 E-mail:zmdntyc@163.com

通讯作者:梁德 E-mail:303540749@qq.com

due to the height loss and kyphosis of the index vertebra aggravating. Close follow-up is mandatory.

[Key words] Kümmell disease; Percutaneous vertebral augmentation; Osteoporosis

[Author's address] First Clinical College, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou, 510405, China

Kümmell病由德国外科医生 Kümmell 在 1895 年首次报道,认为其发病机制主要是创伤后椎体缺血骨坏死引起,临床上又称为椎体内缺血性骨坏死、椎体内假关节、椎体内裂隙征、创伤后迟发性椎体塌陷、陈旧性椎体骨折不愈合等,是骨质疏松性椎体压缩骨折 (osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF) 的一种少见类型^[1]。目前常采用经皮椎体强化术 (percutaneous vertebra augmentation, PVA) 治疗不伴有神经症状的 Kümmell 病取得了较好疗效,然而多数是短期随访结果^[1-2],超过 2 年以上的随访结果缺乏数据报道。本研究对 PVA 治疗无神经症状的 Kümmell 病患者的 2 年以上随访结果进行总结和分析,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:(1)OVCF 患者,腰椎或髋部骨密度 T 值 $\leq -2.5SD$; (2)术前通过脊柱 MRI 及 CT 诊断为不伴有神经症状的 Kümmell 病且术后随访至少 24 个月; (3)采用 PVA 治疗,有术前、术后 3d 和末次随访时的胸椎或腰椎正侧位 X 线片。排除标准:(1)脊柱原发肿瘤、脊柱转移瘤、脊柱结核、脊柱化脓性感染导致的椎体压缩骨折; (2)新鲜椎体压缩骨折或高能量损伤的爆裂性骨折。

根据纳入及排除标准,收集 2009 年 6 月~2013 年 6 月采用 PVA 治疗的不伴有神经症状的 Kümmell 病患者 32 例,其中男 4 例,女 28 例,年龄 56~87 岁 (69.95 ± 7.72 岁)。T10 2 例, T11 5 例, T12 12 例, L1 10 例, L2 2 例, L4 1 例。骨密度 T 值 $-3.43 \pm 0.22SD$ ($-2.5 \sim -5.1SD$)。所有患者病程均超过 1 个月,结合术前脊柱 MRI 及 CT 确诊为 Kümmell 病的椎体。

1.2 手术方法及术后处理

患者取俯卧过伸体位,局部麻醉,通过 C 型臂 X 线机正侧位透视确定骨折椎体及其椎弓根位置,均进行双侧椎弓根穿刺,逐渐将穿刺针旋转推进,穿过皮质、椎弓根,直至椎体内后 1/4。PVA

包括经皮穿刺椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 和球囊扩张椎体后凸成形术 (percutaneous kyphoplasty, PKP), 如行 PKP 手术者,将可扩张球囊导入椎体,扩张球囊后透视下将骨水泥 (聚甲基丙烯酸甲酯) 缓慢、平稳注入椎体内。在注入骨水泥过程中, C 型臂 X 线机透视监测,以防骨水泥从椎体周围渗漏。依序拔除工作套管,缝合切口。

术后次日佩戴胸腰支具下床活动, 3~5d 出院,持续佩戴胸腰支具 3 个月。术后规范行抗骨质疏松治疗 (钙+维生素 D+双磷酸盐类药物), 术后 3d 及 1、3、6、12 个月分别进行随访,然后每隔 1 年进行随访。随访拍摄站立位全脊柱正侧位 X 线片。

1.3 观察指标

(1)记录手术时间、骨水泥用量; (2)采用视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS) 评估手术前后腰背疼痛程度; Oswestry 功能障碍指数 (Oswestry disability index, ODI) 评估手术前后腰椎功能障碍情况; (3)在侧位 X 线片上测量伤椎前缘、中线高度和伤椎 Cobb 角; (4)观察术中骨水泥渗漏及其他并发症的发生情况。记录手术前后及末次随访时上述指标。

1.4 统计学处理

应用 SPSS 22.0 统计软件包处理数据,计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,伤椎后凸 Cobb 角、伤椎前缘和中线高度、VAS 评分、ODI 的前后对比行配对样本 *t* 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有患者均顺利完成手术。手术时间为 35~50min, 平均 41min; 骨水泥注入量为 3~9ml (4.93 ± 1.43 ml)。2 例发生骨水泥椎前静脉渗漏, 1 例发生椎旁骨壁破裂处渗漏, 4 例发生骨水泥椎间隙渗漏, 未出现明显临床症状。

随访 2~6 年 (2.81 ± 0.97 年) 术前、术后 3d 和末次随访时 VAS 评分、ODI、伤椎高度及局部后凸 Cobb 角见表 1。术后 3d VAS 评分、ODI、伤椎高

度及局部后凸 Cobb 角与术前比较有统计学差异 ($P<0.05$); 末次随访时伤椎高度、局部后凸 Cobb 角与术后 3d 比较均有统计学差异 ($P<0.05$); VAS 评分、ODI 在末次随访时与术后 3d 比较有下降, 但无统计学差异 ($P>0.05$)。末次随访时, 所有患者伤椎均出现与相邻节段自发性融合, 6 例出现骨水泥碎裂和移位, 8 例出现骨水泥周围出现透亮线(图 1~3)。

3 讨论

Kümmell 病是 OVCF 的一种特殊类型, 多数

学者认为其发病机制是椎体内缺血性骨坏死, 常继发椎体内不稳定, 后期表现为持续性的椎体塌陷, 导致顽固性腰背痛或伴有神经症状, 保守治疗往往效果不佳, 根据不同类型常采取微创或开放内固定手术^[3-5]。对于不伴有神经症状的 Kümmell 病, PVA 可快速缓解疼痛、恢复椎体高度, 短期疗效明显^[6-9], 但是否能维持疗效尚不清楚。本研究发现 PVA 治疗 Kümmell 病术后即刻, 患者的伤椎椎体高度、局部后凸角及 VAS 评分均较术前显著改善, 但是在随访超过 2 年时伤椎高度和 VAS 评分进一步降低、局部后凸角和 ODI 进一步增加,

表 1 术前、术后 3d 和末次随访时的临床和影像学指标

($\bar{x}\pm s$, $n=32$)

Table 1 The changes of indexes before and after operation

	局部后凸 Cobb 角 (°) Cobb angle	伤椎前缘高度 (cm) Anterior height of fractured vertebra	伤椎中线高度 (cm) Middle height of fractured vertebra	VAS 评分 VAS score	Oswestry 功能障碍指数 ODI (%)
术前 Pre-operation	20.20±11.16	1.39±0.57	1.24±0.43	6.77±1.11	60.45±2.06
术后 3d Post-operation	13.00±10.35 ^①	1.82±0.39 ^①	1.88±0.43 ^①	2.00±1.07 ^①	12.00±1.95 ^①
末次随访 Final follow-up	15.47±11.00 ^{①②}	1.52±0.43 ^{①②}	1.45±0.38 ^{①②}	3.41±0.96 ^{①③}	16.14±2.33 ^{①③}

注: ①与术前比较 $P<0.05$; ②与术后 3d 比较 $P<0.05$; ③与术后 3d 比较 $P>0.05$

Note: ①Compared with pre-operation, $P<0.05$; ②Compared with 3 days after operation, $P<0.05$; ③Compared with 3 days after operation, $P>0.05$



图 1 患者女, 73 岁, 骨密度 T 值为 $-3.6SD$, T11 Kümmell 病 a 术前侧位 X 线片示 T11 椎体骨折塌陷 2/3、局部 Cobb 角 31° b 术前 CT 示 T11 椎体变扁, 椎体内见“真空征” c 术前 MRI 脂抑像示 T11 椎体内液体积聚、椎体塌陷 d 经皮强化术后 3d, X 线片示 T11 椎体高度明显恢复, 骨水泥在椎体内呈团块样分布, 局部 Cobb 角 10.1° e、f 术后 3 年 X 线片示 T11 椎体塌陷, 骨水泥向前方移位, 侧方形成骨桥与上下椎体融合, 局部 Cobb 角 22.2°

Figure 1 Female, 73 years, T11 Kümmell's disease, bone mineral density(BMD) T score was $-3.6SD$ a Preoperative lateral X-rays showed T11 compressed with 2/3 height loss and 31° of kyphotic angle b T11 vertebral collapse and innervertebral vacuum sign was seen from preoperative CT c Preoperative MRI (STIR) showed T11 vertebral collapse with fluid sign d T11 percutaneous kyphoplasty (PKP) was performed with significant reduction of vertebral height and Cobb angle(from 31° to 10.1°) was observed at 3-day post-operative lateral X-ray. Cement distribution was solid lump pattern e, f T11 recollapsed, kyphosis aggravated with Cobb angle of 22.2° , bone cement forward migration, and lateral fusion with the adjacent vertebral body at 3 year postoperatively from X-ray

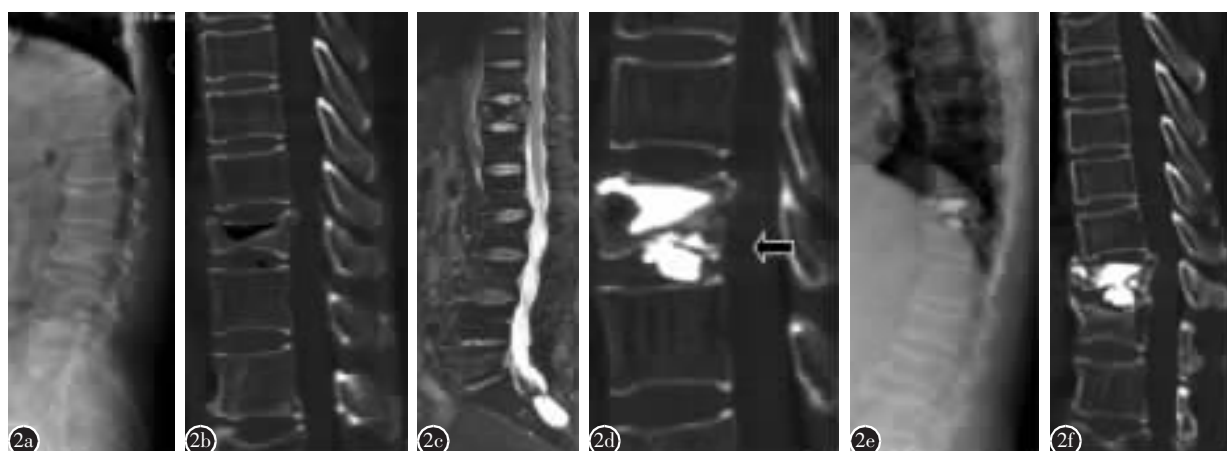


图 2 患者女, 63 岁 骨密度 T 值为 $-2.8SD$, T11 Kümmell 病 **a** 术前侧位 X 线片示 T11 椎体骨折塌陷 2/3、局部后凸 Cobb 角 17.1° **b** 术前 CT 示 T11 椎体变扁, 椎体内见“真空征” **c** 术前 MRI 脂抑像示 T11 椎体内液体积聚、椎体塌陷 **d** 经皮椎体强化术后 3d, CT 示 T11 椎体高度明显恢复, 骨水泥在椎体内分布不足, 部分真空裂隙未达到填充(黑色箭头指向), 局部后凸 Cobb 角 4° **e, f** 术后 2.6 年 X 线片、CT 示 T11 椎体内骨水泥碎裂, 椎体塌陷, 前方形成骨桥与上下椎体融合, 局部后凸 Cobb 角 23°

Figure 2 Female, 63 years, T11 Kümmell's disease, BMD(T score) was $-2.8SD$ **a** Preoperative X-rays showed T11 compressed with 2/3 height loss and Cobb angle 17.1° **b** T11 vertebral collapse and innervertebral vacuum sign was seen from preoperative CT **c** Preoperative MRI(STIR) showed T11 vertebral collapse with fluid sign **d** T11 PVP was performed with significant reduction of vertebral height and improvement of Cobb angle to 4° , however, cement distributed unsatisfactory, innervertebral cleft partly unfilled(black arrow) **e, f** T11 recollapsed, bone cement fragmentation, and anterior fusion with the adjacent vertebral body at 2.6 year postoperatively with Cobb angle 23° from lateral X-ray and CT

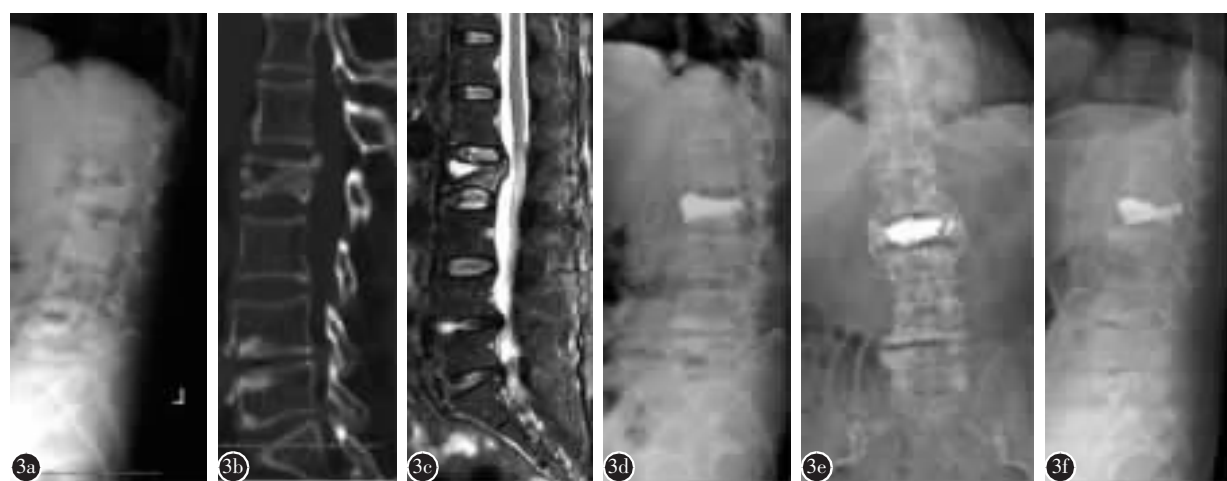


图 3 患者女, 67 岁 骨密度 T 值为 $-4.2SD$, L2 Kümmell 病 **a** 术前侧位 X 线片示 L2 椎体骨折塌陷 1/2、局部后凸 Cobb 角 18.5° **b** 术前 CT 示 L2 椎体变扁, 椎体内见“真空征” **c** 术前 MRI 脂抑像示 L2 椎体内液体积聚、椎体塌陷 **d** 经皮椎体强化术后 3d, X 线片示 L2 椎体高度明显恢复, 骨水泥在椎体内呈团块样分布, 局部后凸 Cobb 角 8.4° **e, f** 术后 2 年 X 线片示 L2 椎体塌陷, 骨水泥周围出现“透亮征”, 侧方形成骨桥与上下椎体融合, 局部后凸 Cobb 角 21.6°

Figure 3 Female, 67 years, L2 Kümmell's disease, Bone mineral density(BMD) T score was $-4.2SD$ **a** Preoperative X-rays showed L2 compressed with 1/2 height loss and Cobb angle 18.5° **b** L2 vertebral collapse and innervertebral vacuum sign was seen from preoperative CT **c** Preoperative MRI(STIR) showed L2 vertebral collapse with fluid sign **d** L2 PKP was performed with significant reduction of vertebral height and improvement of Cobb angle to 8.4° , and cement distributed solid lump pattern **e, f** L2 recollapsed, a "halo ring" phenomenon around the PMMA mass, and lateral fusion with the adjacent vertebral body at 2 year postoperatively with Cobb angle 21.6° from X-ray

部分患者再次出现腰背痛症状,考虑与椎体内骨水泥不能维持与周围松质骨长期的稳定有关^[10]。

3.1 Kümmell 病疗效不佳机制分析

目前有文献报道^[10-13],椎体强化术治疗 OVCF 术后患者继发骨水泥椎体塌陷的一个重要危险因素是 Kümmell 病。有学者通过病理检查认为^[14,15] Kümmell 病患者病程较长,椎体内存在动态不稳定,椎体内裂隙周围骨壁形成滑膜组织,椎体强化术时骨水泥多存在于椎体内裂隙中,较难通过滑膜组织渗透至周围骨小梁中,不能维持椎体内稳定性,进而导致椎体塌陷、疗效不佳。也有学者认为^[15,16],Kümmell 病椎体内骨水泥不可吸收,不能被骨组织代替,椎体内可出现异物反应,骨水泥周围被纤维组织包裹,导致骨水泥会移动、继发椎体内不稳定。Nagad 等^[17]认为椎体内骨水泥与松质骨不能融合时,可产生骨水泥移位、椎体内不稳定,进而椎体内不稳定的骨水泥不断刺激周围的骨壁和邻近的椎间盘,产生疼痛。Lane 等^[7]认为椎体裂隙内骨水泥填充不足,不能维持椎体的稳定,是导致 Kümmell 病术后不稳定的重要因素,因此应使尽可能多的骨水泥填满裂隙及周围骨质,本研究骨水泥量达 3~9ml,平均 4.93 ± 1.43 ml。Chou 等^[13]认为,位于胸腰段的椎体骨折,局部应力较集中,椎体内注入不可吸收的骨水泥,活动时易导致椎体骨水泥松动。本研究术后长期随访中,部分患者疗效不佳,多数位于胸腰段,持续的腰背痛主要考虑由椎体内骨水泥不能保持稳定引起。

3.2 PVA 治疗 Kümmell 病的转归

Kümmell 病强化术后出现椎体塌陷时,骨水泥强化椎体会产生不同形态改变。我们的随访中发现,所有患者伤椎均与邻椎自发性融合,6 例出现骨水泥碎裂和移位,8 例出现骨水泥周围出现透亮线。Heo 等^[11]在随访椎体强化术治疗 Kümmell 病的椎体时,也发现强化椎体出现再塌陷、骨水泥脱位及骨水泥碎裂等并发症。Wang 等^[18]认为 Kümmell 病椎体存在缺血性骨坏死腔隙,周围伴有纤维组织形成,PMMA 注入椎体内裂隙时,不能与周围骨小梁紧密结合或生物相容,因此易导致骨水泥脱位、碎裂,继发椎体塌陷。Huang 等^[15]通过对椎体强化术后松动的骨水泥周围组织进行病理切片分析,发现了坏死的骨组织,认为椎体内骨水泥松动的主要原因是骨水泥周围骨坏死。也有学者^[10]认为骨水泥移位骨化及与邻近节段融合

都是因为骨水泥与周围松质骨未紧密结合、椎体内骨水泥不稳定所致,随着脊柱活动而出现骨水泥移位,甚至脱出、碎裂。X 线片中看到骨水泥周围出现透亮影,骨水泥周围的骨密度较低,说明骨水泥周围的骨质发生改变。Kümmell 病椎体内存在骨坏死,骨坏死裂隙周围形成纤维组织,容易包裹骨水泥,导致骨水泥与周围松质骨无法紧密结合,进而产生椎体内不稳定。椎体内不稳定的骨水泥可伴随人体活动发生移动,从而导致骨水泥强化椎体形态发生改变。

3.3 Kümmell 病治疗体会

椎体强化术治疗 Kümmell 病后期出现的并发症主要与椎体内骨水泥不稳定有关,因此椎体内骨水泥稳定对疗效至关重要^[19]。为提高 Kümmell 病疗效,笔者建议:①椎体强化术注入骨水泥结束退出穿刺针时,边退出边注入少量的骨水泥,使骨水泥沿工作管道弥散至椎弓根,形成“拖尾征”,对前方裂隙内骨水泥形成锚定的作用,减少骨水泥松动发生;②椎体裂隙内注入足量的骨水泥,骨水泥量不足可导致椎体内不稳定或椎体再塌陷等而导致疗效不佳^[15,19,20];③对于部分 Kümmell 病椎体后壁破裂严重或伴有后方韧带复合体损伤患者,如果患者身体条件允许,建议行骨水泥钉道强化内固术^[21];④椎体强化术后继续佩戴支具 3 个月,稳定外环境下,有利于椎体内松质骨与骨水泥紧密结合;⑤术后坚持系统抗骨质疏松治疗,是保证疗效的关键。

总之,PVA 治疗 Kümmell 病的早期疗效明确,能够有效缓解疼痛及恢复椎体高度。然而,随访 2 年及以上时,骨水泥强化的椎体容易出现塌陷,强化椎体后凸角度逐渐加大,骨水泥强化椎体形态发生不同改变。可见 PVA 治疗 Kümmell 病不能提供足够的长期稳定,术后应严密观察和随访。但本研究病例数相对较少,均为单一中心病例,并且缺乏不同治疗方案的对照研究。另外,也没有对骨质疏松治疗情况及骨密度变化进行相应的观察。

4 参考文献

1. 梁德,江晓兵,姚珍松,等. 过伸体位下椎体成形术治疗 Kümmell 病的近期疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(3): 260-261.
2. Freedman BA, Heller JG. Kummel disease: a not-so-rare complication of osteoporotic vertebral compression fractures [J]. J Am Board Fam Med, 2009, 22(1): 75-78.

3. Kim P, Kim SW. Balloon kyphoplasty: an effective treatment for Kümmell disease[J]. *Korean J Spine*, 2016, 13(3): 102–106.
4. Adler D, Tschoeke SK, von der Hoeh N, et al. Non-union of osteoporotic vertebral fractures—identification and treatment of an underestimated pathology in elderly patients with persistent back pain[J]. *Acta Orthop Belg*, 2014, 80(4): 444–450.
5. 拓源, 郝定均, 葛朝元, 等. Kümmell 病的分期分型与治疗进展[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2017, 27(7): 638–642.
6. Jang JS, Kim DY, Lee SH. Efficacy of percutaneous vertebroplasty in the treatment of intravertebral pseudarthrosis associated with noninfected avascular necrosis of the vertebral body [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(14): 1588–1592.
7. Lane JJ, Maus TP, Wald JT, et al. Intravertebral clefts opacified during vertebroplasty: pathogenesis, technical implications, and prognostic significance[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23(10): 1642–1646
8. Yang H, Gan M, Zou J, et al. Kyphoplasty for the treatment of Kümmell's disease[J]. *Orthopedics*, 2010, 33(7): 479.
9. Mathis JM. Vertebroplasty for vertebral fractures with intravertebral clefts[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23(10): 1619–1620.
10. Heo DH, Choi JH, Kim MK, et al. Therapeutic efficacy of vertebroplasty in osteoporotic vertebral compression fractures with avascular osteonecrosis: a minimum 2-year follow-up study[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(7): E423–E429.
11. Heo DH, Chin DK, Yoon YS, et al. Recollapse of previous vertebral compression fracture after percutaneous vertebroplasty[J]. *Osteoporos Int*, 2009, 20(3): 473–480.
12. Kim YJ, Lee JW, Kim KJ, et al. Percutaneous vertebroplasty for intravertebral cleft: analysis of therapeutic effects and outcome predictors[J]. *Skeletal Radiol*, 2010, 39(8): 757–766.
13. Chou KN, Lin BJ, Wu YC, et al. Progressive kyphosis after vertebroplasty in osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(1): 68–73.
14. Hasegawa K, Homma T, Uchiyama S, et al. Vertebral pseudarthrosis in the osteoporotic spine[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1998, 23(20): 2201–2216.
15. Huang KY, Yan JJ, Lin RM. Histopathologic findings of retrieved specimens of vertebroplasty with polymethylmethacrylate cement: case control study [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(19): E585–E588.
16. Lewis G. Properties of acrylic bone cement: state of the art review[J]. *J Biomed Mater Res*, 1997, 38(2): 155–182.
17. Nagad P, Rawall S, Kundnani V, et al. Postvertebroplasty instability[J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 16(4): 387–393.
18. Wang HS, Kim HS, Ju CI, et al. Delayed bone cement displacement following balloon kyphoplasty[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2008, 43(4): 212–214.
19. Kim JE, Choi SS, Lee MK, et al. Failed percutaneous vertebroplasty due to insufficient correction of intravertebral instability in Kümmell's disease: a case report [J]. *Pain Pract*, 2017, 17(8): 1109–1114.
20. Kim DJ, Kim TW, Park KH, et al. The proper volume and distribution of cement augmentation on percutaneous vertebroplasty[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2010, 48(2): 125–128.
21. Kim HS, Heo DH. Percutaneous pedicle screw fixation with polymethylmethacrylate augmentation for treatment of thoracolumbar intravertebral pseudoarthrosis associated with kümmell's osteonecrosis [J]. *Biomed Res Int*, 2016, 2016: 3878063.

(收稿日期:2017-10-19 修回日期:2017-11-20)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 李伟霞)