

临床论著

经皮椎体后凸成形术治疗 Kümmell 病
术中骨水泥渗漏的危险因素分析

杜鹏,程傲雄,范宁,袁硕,杨立辉,薛伟,藏磊

(首都医科大学附属北京朝阳医院骨科 100020 北京市)

【摘要】目的:探讨 Kümmell 病患者行经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty,PKP)术中骨水泥渗漏的危险因素。**方法:**回顾性研究 2016 年 2 月~2021 年 3 月在我院行 PKP 治疗的 Kümmell 病患者共 70 例,根据术后是否发现骨水泥渗漏分为渗漏组与非渗漏组,记录两组患者年龄、性别、身体质量指数(body mass index, BMI)、Kümmell 病分期(I/II 期)、症状持续时间、骨折部位(胸椎/腰椎)、骨水泥注射量、骨水泥分布形态(团块样/海绵样)、椎体前壁高度丢失值、椎体前壁压缩程度、椎体楔形角、椎体前壁高度、椎体后壁高度和骨水泥体积分数。应用单因素分析及多因素 Logistic 回归分析研究各因素与骨水泥渗漏之间的关系,并绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线分析骨水泥体积分数对骨水泥渗漏的预测价值。**结果:**70 例患者中出现骨水泥渗漏 32 例,渗漏率为 45.7%。单因素分析显示,Kümmell 病分期、椎体前壁压缩程度、椎体楔形角及骨水泥体积分数组间差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素 Logistic 回归分析显示,椎体前壁压缩程度($P=0.021$)及骨水泥体积分数($P=0.032$)是 PKP 治疗 Kümmell 病术中发生骨水泥渗漏的危险因素。ROC 曲线显示,骨水泥体积分数预测骨水泥渗漏最佳临界值为 31.28%。**结论:**骨水泥体积分数及椎体前壁压缩程度是 PKP 治疗 Kümmell 病术中骨水泥渗漏的独立危险因素,治疗时应保持骨水泥体积分数在 31.28%以下。

【关键词】经皮椎体后凸成形术;Kümmell 病;骨水泥渗漏;危险因素

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.06.07

中图分类号:T683.2,R619 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2022)-06-0526-06

Analysis on the risk factors of cement leakage in percutaneous kyphoplasty for Kümmell disease/DU Peng, CHENG Aoxiong, FAN Ning, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(6): 526-531

【Abstract】 Objectives: To identify the risk factors of bone cement leakage in percutaneous kyphoplasty (PKP) in patients with Kümmell disease. **Methods:** A total of 70 patients with Kümmell disease treated with PKP in our hospital between February 2016 and March 2021 were retrospectively reviewed. According to whether there was bone cement leakage in operation or not, the patients were divided into leakage group and non-leakage group. Age, gender, body mass index(BMI), staging of Kümmell disease(I/II), symptom duration, fracture site(thoracic, lumbar), cement volume, cement distribution pattern (lumped, spongy), anterior and posterior wall heights, the decrease of anterior vertebral wall height, compression degree of anterior wall, wedge angle and the volume fraction of bone cement were recorded. The data were analyzed by univariate and multivariate Logistic regression analysis to determine the related factors of cement leakage. Receiver operating characteristic(ROC) curve was drawn to analyze the predictive value of bone cement volume fraction on bone cement leakage. **Results:** Bone cement leakage occurred in 32 of 70 patients, with a leakage rate of 45.7%. Univariate analysis showed that there were significant differences in the staging of Kümmell disease (I/II), the compression degree of anterior wall, wedge angle, and the volume fraction of bone cement between groups ($P<0.05$). Logistic regression analysis showed that the compression degree of anterior wall ($P=0.021$) and the volume fraction of bone cement($P=0.032$) were the risk factors of bone cement leakage after PKP treatment of

基金项目:北京市自然科学基金-海淀原始创新联合基金(L192046);石景山区医学重点学(专)科

第一作者简介:男(1987-),住院医师,医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(010)51718268 E-mail:owendp@163.com

通讯作者:藏磊 E-mail:zanglei@ccmu.edu.cn

Kümmell disease. ROC curve showed that the best critical value of the volume fraction of bone cement to predict bone cement leakage was 31.28%. **Conclusions:** The compression degree of anterior wall and the volume fraction of bone cement are independent risk factors for bone cement leakage in PKP treatment of Kümmell disease, and the volume fraction of bone cement should be kept below 31.28%.

【Key words】 Percutaneous kyphoplasty; Kümmell disease; Bone cement leakage; Risk factors

【Author's address】 Department of Orthopedic, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University of China, Beijing, 100020, China

Kümmell 病是由德国外科医生师 Herman Kümmell 于 1985 年首次提出的一种骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)的迟发性并发症^[1], 常见于中老年人, 其临床特点是早期有轻微的脊柱外伤史, 在经过了数周或数月的无症状期后, 出现渐进性的背痛、脊柱后凸畸形或神经损害。临床中 Kümmell 病的发病率约为 7%~37%^[2], 其影像学特点是迟发性椎体塌陷和椎体内真空裂隙征(intravertebral vacuum cleft, IVC)^[3]。Kümmell 病的发病机制尚不明确, 目前主流观点认为是由于椎体血供的特点, 当椎体骨折部分塌陷时, 引起椎体动脉供血不足, 椎体前 1/3 区域血液供应较后部少, 故椎体塌陷常发生于椎体前 1/3 区域^[2]。根据病情的进展程度, Li 等^[4]将 Kümmell 病分为 3 期: I 期, 椎体高度减少 $\leq 20\%$, 没有邻近的椎间盘退行性改变; II 期, 椎体高度减少 $> 20\%$, 多数伴有邻近的椎间盘退行性改变; III 期, 椎体后方皮质破裂, 合并脊髓受到压迫。对于 I、II 期 Kümmell 病, 微创治疗是目前首选的方案, 它包括经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)和经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)。两种术式都可以缓解疼痛, 改善功能, 而 PKP 在降低骨水泥渗漏率和更好恢复椎体形态方面更具有优势^[5]。但更好的椎体形态恢复, 也意味着更多的骨水泥注入量, 更高的骨水泥渗漏风险。因此, 笔者收集我科行 PKP 治疗的 Kümmell 病患者的临床资料并进行回顾性分析, 探讨骨水泥渗漏的危险因素及适宜的骨水泥使用量。

1 资料与方法

1.1 一般资料

患者纳入标准: (1) 术前经 X 线片、CT 及 MRI 明确诊断为 Kümmell 病, 均为 I/II 期; (2) 均行 PKP 治疗; (3) 单一节段椎体病变; (4) 具有完整的随访及影像学资料; (5) 骨密度检查提示骨质

疏松(T 值 < -2.5)。排除标准: (1) 骨密度检查未发现骨质疏松者; (2) 既往有病变节段手术史; (3) 合并脊柱肿瘤、感染、凝血异常及严重心肺疾病等。

2016 年 2 月~2021 年 3 月通过 PKP 治疗的 Kümmell 病患者共 70 例, 其中男性 21 例, 女性 49 例, 年龄 58~93 岁(78.26 \pm 8.12 岁)。症状持续时间 3~90d(39.25 \pm 19.02d)。根据术后是否发现骨水泥渗漏, 将患者分为骨水泥渗漏组与无渗漏组, 其中骨水泥渗漏组 32 例, 无渗漏组 38 例。

1.2 手术方法

患者俯卧于手术台, 取过伸体位。C 型臂 X 线透视定位伤椎, 并以症状较重一侧作为手术侧。消毒铺巾, 穿刺进针, 透视见针尖到达伤椎裂隙处, 在 C 型臂 X 线透视观察下扩张球囊撑开塌陷椎体, 尽可能恢复椎体高度。椎体复位满意时停止增压。将拉丝期的骨水泥缓慢注入椎体, 并密切观察患者双下肢的运动、感觉情况, 通过 C 型臂 X 线透视观察骨水泥分布情况, 在骨水泥达到良好弥散范围或出现骨水泥渗漏时立刻停止骨水泥注射, 操作完成。取出穿刺针, 缝合包扎, 术毕。

1.3 观察指标

1.3.1 基本指标 包括患者年龄、性别、身体质量指数(body mass index, BMI)、Kümmell 病分期(I/II 期)、症状持续时间、骨折部位(胸椎/腰椎)、骨水泥注射量、骨水泥分布形态(团块样/海绵样)8 项。将年龄、BMI、症状持续时间、骨水泥注射量设为计数资料, 崔利宾等^[6]发现在年龄 ≥ 80 岁的 OVCF 患者中无外伤性骨折发生率较高, 且裂隙征比例较高, 故年龄以 80 岁为界分为两组; 根据中国标准 BMI 值, 正常范围为 18.5~23.9kg/m², 故 BMI 以 24kg/m² 为界分为两组; Kümmell 病发病前可存在一段时间的无症状期, 时间为数周到数月不等, 无法明确具体受伤时间, 因此本研究中的持续时间指的是入院前最近一次发病的时间, 以 30d 为界分为两组; Belkoff 等^[7]认为为了充分恢复骨折椎体的强度, 胸腰段椎体需

要 3.0~4.0ml 的骨水泥,腰椎需要 6.0~8.0ml 的骨水泥,故骨水泥注射量以 6ml 为界分为两组。

1.3.2 影像学测量指标 根据术前 X 线片,利用 PACS 影像工作系统测量以下数据。(1)椎体前、后壁高度^[8]:在术前侧位 X 线片中测量伤椎前壁上终板与下终板之间的距离,同理测量椎体后壁高度(图 1);椎体前壁理论高度=(上位邻近椎体前壁高度+下位邻近椎体前壁高度)/2;椎体前壁高度丢失值=椎体前壁理论高度-椎体前壁高度;椎体前壁压缩程度=(椎体前壁高度丢失值/椎体前壁理论高度)×100%。(2)椎体楔形角:在侧位 X 线片上,测量伤椎上、下终板沿线之间的夹角^[9]。(3)伤椎体积:在术前的腰椎正、侧位 X 线片上,测量伤椎上位椎体下终板长度,并记录为 A1、B1,测量伤椎下位椎体上终板长度并记录为 A2、B2,在侧位 X 线片上测量伤椎上、下椎体高度为 C1、C2,伤椎体积: $V=\pi(A1+A2)(B1+B2)(C1+C2)/32$ ^[9](图 2)。(4)骨水泥体积分数:(骨水泥体积/伤椎体积)×100%^[10]。

1.4 统计方法

所有数据采用 SPSS 17.0 软件进行统计学处理,单因素分析采用卡方检验和 *t* 检验,其中年龄、性别、BMI、Kümmell 病分期、症状持续时间、骨折部位、骨水泥注射量、骨水泥分布形态设为计

数资料,以卡方检验进行统计分析;椎体前壁高度丢失值、椎体前壁压缩程度、椎体楔形角、椎体前壁高度、椎体后壁高度及骨水泥体积分数指标为计量资料,采用 *t* 检验进行统计分析;将单因素分析结果有统计学意义的因素纳入多因素 Logistic 回归分析;对确定的危险因素采用受试者工作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线的曲线下面积(the area under the ROC curve,AUC)来评价其对骨水泥渗漏的预测价值。

2 结果

2.1 骨水泥渗漏的单因素分析

单因素分析结果显示,年龄、性别、BMI、症状持续时间、骨折部位、骨水泥注射量、骨水泥分布形态、椎体前壁高度丢失值、椎体前壁高度及椎体后壁高度骨水泥渗漏组与无渗漏组比较差异无统计学意义($P>0.05$),两组患者的 Kümmell 病分期、椎体前壁压缩程度、椎体楔形角及骨水泥体积分数比较差异有统计学意义($P<0.05$,表 1)。

2.2 骨水泥渗漏的多因素分析

以患者是否发生骨水泥渗漏为因变量,Kümmell 病分期、椎体前壁压缩程度、椎体楔形角及骨水泥体积分数为自变量,进行 Logistic 回归多因素分析,发现骨水泥体积分数及椎体前壁压

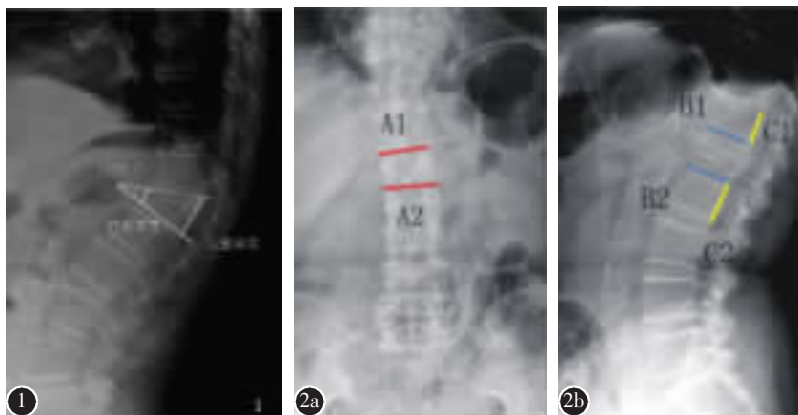


图 1 椎体楔形角为伤椎上下终板之间的夹角。测量椎体前壁和后壁上、下终板之间的距离分别作为前壁高度和后壁高度 **图 2** 在术前腰椎正、侧位 X 线片上,测量伤椎上位椎体下终板长度并标记为 A1、B1,测量伤椎下位椎体上终板长度并标记为 A2、B2,A1+A2 即图 2a 中红色线,其值为 7.70cm,B1+B2 即图 2b 中蓝色线,其值为 6.64cm,在侧位 X 线片上测量伤椎上、下椎体高度,即图 2b 中黄色线,C1+C2 的值为 5.86cm,经估算 L1 椎体受伤前体积约为 29.40cm³

Figure 1 The wedge angle of the vertebral body was measured as the angle between the upper and lower endplates of the fracture segment. The distance between the upper and lower endplates of the anterior wall of the vertebral body was taken as the height of the anterior wall, so was the posterior wall **Figure 2** In the anteroposterior and lateral films of the lumbar spine before operation, the lengths of the lower endplate of the upper vertebral body of the injured vertebral body were measured and marked as A1 and B1. The lengths of the upper endplate of the lower vertebral body of the injured vertebral body were measured and marked as A2 and B2. In figure 2a, A1+A2(red lines) was 7.70cm. In figure 2b, B1+B2(blue lines) was 6.64cm. The heights of upper and lower vertebral bodies of injured vertebrae were measured and marked as C1 and C2 in yellow in figure 2b. C1+C2 was 5.68cm, and the volume of L1 vertebral body before injury was estimated to be 29.40cm³

缩程度是骨水泥渗漏的独立危险因素($P<0.05$, 表 2)。

表 1 PKP 治疗 Kümmell 病发生骨水泥渗漏的单因素分析
Table 1 Single factor analysis of bone cement leakage in PKP for Kümmell disease

	渗漏组(n=32) Leakage group	无渗漏组(n=38) Non-leakage group	P值 P value
年龄(岁)Age			0.899
>80	12	14	
≤80	20	24	
性别 Sex			0.052
男 Male	13	7	
女 Female	19	31	
身体质量指数(kg/m ²) Body mass index			0.068
>24	17	12	
≤24	15	26	
Kümmell病分期 Staging of Kümmell disease			0.027
I 期 Stage I	7	18	
II 期 Stage II	25	20	
症状持续时间(d) Symptom duration			0.363
≤30	7	12	
>30	25	26	
骨折部位 Fracture site			0.377
胸椎 Thoracic	16	15	
腰椎 Lumbar	16	23	
骨水泥注射量(ml) Cement volume			0.238
≤6	14	22	
>6	18	16	
骨水泥形态 Cement distribution pattern			0.484
团块样 Lumped	17	17	
海绵样 Spongy	15	21	
椎体前壁高度(mm) AWH	5.35±1.34	3.88±0.89	0.159
椎体后壁高度(mm) PWH	5.09±1.27	4.72±1.08	0.892
椎体前壁高度丢失 值(mm) Decrease of AWH	6.23±1.56	4.62±1.06	0.039
椎体前壁压缩程度(%) Compression degree of AWH	22.38±5.59	14.52±3.33	0.064
椎体楔形角(°) Wedge angle	7.08±1.77	7.89±1.81	0.015
骨水泥体积分数(%) Volume fraction of bone cement	10.20±2.55	9.63±2.21	0.045

注:AWH,椎体前壁高度;PWH,椎体后壁高度

Note: AWH, mean anterior wall height; PWH, mean posterior wall height

2.3 ROC 曲线分析

绘制 ROC 曲线,分析骨水泥体积分数对骨水泥渗漏的预测价值。ROC 曲线分析显示,骨水泥体积分数预测骨水泥渗漏的曲线下面积为 0.761,最佳临界值为 31.28%(图 3)。

3 讨论

目前,临床上对于 Kümmell 病的治疗主要根据 Kümmell 病的临床分期进行选择。对于有脊髓受压及椎体严重塌陷的 III 期患者,骨水泥增强联合短节段内固定术 (bone cement-augmented short-segment fixation, BCASSF)^[11] 是目前较为推荐的术式,多篇文献研究的结果显示 BCASSF 在

表 2 骨水泥渗漏相关因素的多因素分析

Table 2 Multivariate analysis of factors related to bone cement leakage

	P值 P value	比值比 OR	比值比 95%置信区间 95%CI for OR	
			下限 Lower	上限 Upper
Kümmell病分期 Staging of Kümmell disease	0.714	1.296	1.216	1.741
椎体前壁压缩程度 Compression of AWH	0.021	1.187	1.021	1.412
椎体楔形角 Wedge angle	0.974	1.008	0.788	1.394
骨水泥体积分数 Volume fraction of bone cement	0.032	1.325	1.128	1.687

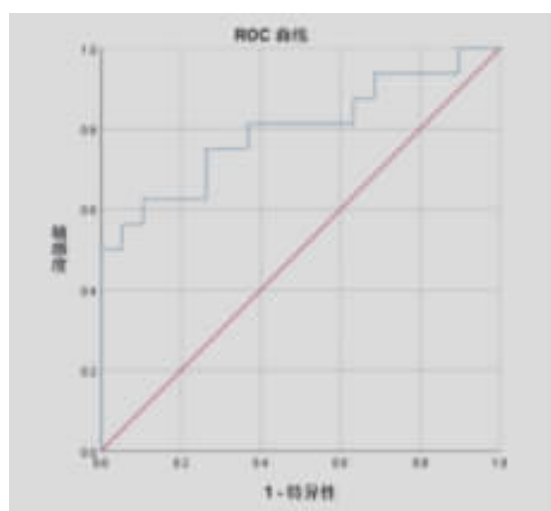


图 3 骨水泥体积分数预测骨水泥渗漏的 ROC 曲线

Figure 3 ROC curve of bone cement volume fraction predicting bone cement leakage

改善腰痛症状、恢复神经功能、减少内固定松动断裂及维持椎体高度等方面有着很好的效果^[12-14]。而对于无神经受损症状的 I、II 期 Kümmell 病,或者是老年体弱、无法耐受开放手术的患者,PVP 和 PKP 则有着创伤小、安全性高、出血量少、术后恢复快等优点。相比之下,PKP 填充骨水泥更多,骨水泥渗漏率较低,可以更好地恢复椎体高度和矫正后凸畸形,在中长期随访时疼痛缓解效果更好^[15-17]。

骨水泥渗漏是 PKP 手术最常见的并发症,既往文献报道其发生率在 5%~87%^[18],在临床工作中有时为了充分地强化伤椎,骨水泥的填充标准往往是尽可能恢复椎体高度,但由于过多的填充以及椎体生物力学等原因,常导致骨水泥渗漏的发生。在本研究中,骨水泥渗漏的发生率为 45.7%,在多种因素中,椎体前壁压缩程度和骨水泥体积分数是骨水泥渗漏的独立危险因素。椎体前壁压缩明显提示椎体骨折严重及骨折裂隙明显,在骨水泥填充的压力作用下,骨水泥在椎体内弥散时容易从压力较大的裂隙中渗出。因此,较之 PVP,PKP 通过球囊扩张,降低了骨水泥填充早期的压力,避免了 PVP 手术中由于较早的骨水泥渗漏而停止继续注入骨水泥,导致骨折椎体无法妥善治疗的情况^[19]。

骨水泥注射量是 PKP 术中可控的重要变量,也是影响治疗效果的重要因素。有研究^[20]表明,骨水泥注射量与骨水泥渗漏率及渗漏体积呈正相关。由于伤椎的体积不同,应用骨水泥注射量来评估骨水泥的填充效果会产生较大的误差,而骨水泥体积分数作为骨水泥体积与伤椎椎体体积的比值,比起骨水泥注射量,可以更客观地反映骨水泥的填充效果^[21]。

关于骨水泥体积分数的计算,有文献利用薄层 CT 进行伤椎椎体重建,可获得较精准的伤椎体积,但其存在以下问题:(1)本研究骨水泥体积分数中伤椎体积是通过其上下相邻椎体的数据获得的模拟未骨折时椎体的体积,而重建法获得的是伤后椎体体积,不适用于术前预测骨水泥注入量。(2)重建法需要将椎体 DICOM 格式文件导入 Mimics 软件进行三维重建,操作过程复杂,临床无法进行快速且简便的操作^[22]。所以本研究仍采用通过 X 线测量值计算骨水泥体积分数的方法。本研究结果显示,骨水泥体积分数是骨水泥渗漏

的独立危险因素,而骨水泥注射量并非骨水泥渗漏的危险因素,因此,我们认为在对拟行 PKP 治疗的 Kümmell 病患者进行术前评估时,骨水泥体积分数可以更好地帮助术者预估手术中骨水泥量的使用情况。本研究通过绘制 ROC 曲线发现,发生骨水泥渗漏的临界值为 31.28%。因此我们建议,在 PKP 治疗 Kümmell 病术中应在避免骨水泥发生渗漏的前提下尽可能多注射骨水泥,但骨水泥体积分数不宜超过 31.28%。

总之,以 PKP 手术治疗 Kümmell 病可以获得良好的临床疗效,骨水泥体积分数及椎体前壁压缩程度是 PKP 治疗 Kümmell 病术中骨水泥渗漏的危险因素,在避免骨水泥渗漏的前提下,尽量多的注射骨水泥以更好的恢复椎体高度,但应保持骨水泥体积分数在 31.28% 以下。但本研究为单中心研究,样本量较小,且脊柱椎体为不规则柱体,导致本研究测量椎体体积的方法存在不足,尚需进一步的多中心大样本研究进行补充。

4 参考文献

1. Kümmell H. Die rarefizierende ostitis der wirbelkörper[J]. *Deutsche Med*, 1895, 21(1): 180-181.
2. Freedman BA, Heller JG. Kümmell disease: a not-so-rare complication of osteoporotic vertebral compression fractures [J]. *J Am Board Fam Med*, 2009, 22(1): 75-78.
3. Park SJ, Kim HS, Lee SK, et al. Bone cement-augmented percutaneous short segment fixation: an effective treatment for Kümmell's disease[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2015, 58(1): 54-59.
4. Li K, Wong T, Kung F, et al. Staging of Kümmell's disease [J]. *J Muscul Res*, 2004, 8(1): 43-55.
5. Park JW, Park JH, Jeon HJ, et al. Kümmell's disease treated with percutaneous vertebroplasty: minimum 1 year follow-up [J]. *Korean J Neurotrauma*, 2017, 13(2): 119-123.
6. 崔利宾,唐本强,王彦辉,等. 年龄≥80岁骨质疏松性椎体压缩骨折患者经皮椎体成形术骨水泥渗漏的危险因素分析 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2020, 30(6): 530-538.
7. Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, et al. The biomechanics of vertebroplasty: the effect of cement volume on mechanical behavior[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(14): 1537-1541.
8. Lee SH, Kim ES, Eoh W. Cement augmented anterior reconstruction with short posterior instrumentation: a less invasive surgical option for Kümmell's disease with cord compression [J]. *J Clin Neurosci*, 2011, 18(4): 509-514.
9. Hulme PA, Krebs J, Ferguson SJ, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty: a systematic review of 69 clinical studies [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(17): 1983-2001.

10. Lv B, Ji P, Fan X, Fan X, et al. Clinical efficacy of different bone cement distribution patterns in percutaneous kyphoplasty: a retrospective study[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(4): E409–E416.
11. Nakashima H, Imagama S, Yukawa Y, et al. Comparative study of 2 surgical procedures for osteoporotic delayed vertebral collapse: anterior and posterior combined surgery versus posterior spinal fusion with vertebroplasty[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(2): E120–126.
12. Huang YS, Hao DJ, Wang XD, et al. Long-segment or bone cement-augmented short-segment fixation for Kümmell disease with neurologic deficits: a comparative cohort study[J]. *World Neurosurg*, 2018, 116: e1079–e1086.
13. Yu H, Li Y, Yao X, et al. Application of percutaneous vertebroplasty and percutaneous kyphoplasty in treating Kümmell's patients with different stages and postural correction status [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2020, 17 (4): 357–364.
14. 杨光. 椎体成形术结合短节段钉棒固定与 PKP 治疗 Kümmell 病的对比研究[D]. 陕西中医药大学, 2016.
15. Kong LD, Wang P, Wang LF, et al. Comparison of vertebroplasty and kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures with intravertebral clefts[J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(Suppl 1): S201–208.
16. Huang Y, Peng M, He S, et al. Clinical efficacy of percutaneous kyphoplasty at the hyperextension position for the treatment of osteoporotic Kümmell disease [J]. *Clin Spine Surg*, 2016, 29(4): 161–166.
17. Wei H, Dong C, Zhu Y, et al. Analysis of two minimally invasive procedures for osteoporotic vertebral compression fractures with intravertebral cleft: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 401.
18. Ding J, Zhang Q, Zhu J, et al. Risk factors for predicting cement leakage following percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3411–3417.
19. Yoon ST, Qureshi AA, Heller JC, et al. Kyphoplasty for salvage of a failed vertebroplasty in osteoporotic vertebral compression fractures: case report and surgical technique[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2005, 18(Suppl): S129–134.
20. 谢胜荣, 杨忠义, 杨浩森, 等. PKP 治疗 Kümmell 病骨水泥渗漏影像及临床疗效观察[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2017, 32(9): 913–916.
21. 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.
22. 梁柱德, 肖善文, 李国栋, 等. 骨水泥体积分数对单侧经皮穿刺椎体成形术的临床疗效研究[J]. *吉林医学*, 2017, 38 (12): 2209–2212.

(收稿日期:2021-08-12 末次修回日期:2022-05-27)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 李伟霞)