

临床论著

骨水泥椎体强化术后椎体再塌陷的危险因素分析

唐永超¹, 李永贤¹, 张顺聪², 梁 德², 江晓兵², 郭丹青², 杨志东², 莫国业¹, 李大星¹

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

【摘要】目的:探讨骨质疏松性椎体压缩骨折经皮骨水泥椎体强化术后椎体再塌陷的危险因素。**方法:**对 2012 年 1 月~2014 年 6 月收治的 304 例单节段骨质疏松性椎体压缩骨折行椎体强化术患者的临床资料进行回顾性分析,包括患者的情况(年龄、性别、体重指数、腰椎骨密度、胸腰段骨折、是否存在椎体内骨坏死等)、手术因素(手术方式、骨水泥量、骨水泥呈团块样分布还是均匀弥散样分布、骨折线区域骨水泥填充是否足够等),并记录患者术后第 3 天、末次随访时局部 Cobb 角及骨水泥再塌陷例数。将上述指标作为可能相关的因素纳入单因素研究,并通过多因素 Logistic 回归分析得出椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关危险因素。**结果:**304 例单节段骨质疏松性椎体压缩骨折患者均顺利完成手术,手术时间 35~50min,平均 41.0±3.5min。240 例患者获得随访,随访时间为 1~4 年,平均 2.6±1.1 年,随访期间共有 30 例患者出现骨水泥椎体再塌陷,再塌陷率达 12.5%。单因素分析显示,骨密度、骨水泥剂量、椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是术后骨水泥椎体再塌陷的潜在危险因素($P<0.05$),而患者性别、年龄、体重指数、手术方式等在两组间的差异不具有统计学意义($P>0.05$)。多因素分析结果显示,术前存在椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是术后骨水泥椎体再塌陷的危险因素($P<0.05$)。**结论:**术前存在椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足可能是椎体强化术后骨水泥椎体发生再塌陷的独立危险因素。

【关键词】椎体强化术;骨质疏松性椎体压缩骨折;再塌陷

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.11.05

中图分类号:R683.2,R619 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-11-0985-06

Risk factor analysis for recollapse of cemented vertebrae after percutaneous augmentation/TANG Yongchao, LI Yongxian, ZHANG Shuncong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27 (11): 985-990

【Abstract】 Objectives: To analyze the risk factors for recollapse of cemented vertebrae after percutaneous augmentation in patients with osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs). **Methods:** From January 2012 to June 2014, 304 cases of single segmental OVCFs were retrospectively reviewed. The following covariates: age, gender, body mass index(BMI), bone mineral density(BMD), thoracolumbar fracture, preoperative osteonecrosis were recorded. The surgical variables were as follows: operation approach, injected cement volume, cement distribution pattern (solid lump pattern or interdigitation pattern), cement filling around fracture line area. Cobb angles of treated vertebrae at 3d post-operation and the final follow-up, and recollapsed vertebrae numbers were assessed. Furtherly, an one-way analysis of variance with those parameters and binary logistic regression analysis was made to determine the relative risk factors. **Results:** 3304 patients had operation successfully. The average operation time was 41.0±3.5 minutes(range, 35 minutes to 50 minutes). 240 patients were evaluated with a mean of 2.6±1.1 years follow-up(range, 1-4 year). 30 cemented vertebrae were identified with recollapse(12.5%), 23 of them occurred in thoracolumbar area. According to one-way analysis, low BMD, small amount of cement injected, preoperative osteonecrosis, solid lump cement pattern, and insufficient cement distributing around fracture line area were analyzed as potential risk factors($P<0.05$), while the differences of gender, age, BMI, operation approach impacted the recollapse without significance($P>0.05$). Further-

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

more, preoperative osteonecrosis existing, solid lump cement pattern, and insufficient cement distributing around fracture line area were determined as risk factors by binary logistic regression analysis($P<0.05$). **Conclusions:** The recollapse of cemented vertebrae occurs in 12.5% of single-level OVCFs after augmentation. Preoperative osteonecrosis, solid lump pattern, and insufficient cement distributing around fracture line area probably increase the risk.

【Key words】 Vertebral augmentation; Osteoporotic vertebral compression fracture; Recollapse

【Author's address】 Department of Spine Surgery, First Affiliated Hospital of Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou, 510405, China

骨质疏松症已被 WHO 列为世界十大最严重疾病之一,骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF) 是骨质疏松症最常见的并发症之一^[1]。经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)和经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)能即刻稳定骨折,快速缓解患者疼痛,显著改善患者生活质量,但也有骨水泥渗漏、邻近非手术椎体再发骨折等并发症发生,然而对于椎体强化术后骨水泥椎体发生再塌陷的这类并发症报道相对较少^[2],对其发生的原因尚不清楚。因此,我们通过对我院 2012 年 1 月~2014 年 6 月收治的 304 例单节段 OVCF 行椎体强化术患者的临床资料进行回顾性分析,探讨 OVCF 经皮椎体强化术(PVP/PKP)后骨水泥椎体再塌陷的相关因素,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2012 年 1 月~2014 年 6 月在本医院收治的 304 例单节段 OVCF 行椎体强化术患者,男 66 例,女 238 例,年龄 61~85 岁,平均 69.58 ± 6.59 岁。受累节段:T4 2 例,T5 3 例,T6 10 例,T7 9 例,T8 13 例,T9 10 例,T10 28 例,T11 37 例,T12 64 例,L1 60 例,L2 29 例,L3 22 例,L4 8 例,L5 9 例。纳入标准:①术前均存在腰背痛、胸腰段活动受限,局部棘突叩压痛,经保守治疗失败;②术前 X 线片、CT 及 MRI 检查明确椎体压缩骨折为急性或亚急性患者,且均为单节段椎体骨折;③经双能 X 线骨密度测量仪测量腰椎骨密度,T 值 $<-2.5SD$ 。排除标准:①脊椎感染或肿瘤导致的病理性骨折;② ≥ 2 个椎体骨折。

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 线机透视正侧位确定骨折椎体及其椎弓根位置,所有患者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。如行 PKP 手术时,可将扩张球囊导入椎体,扩张球囊后透视下将骨水泥缓慢、平稳注入椎体内。再注入骨水泥过程中,C 型臂 X 线机透视监测,以防骨水泥从椎体周围渗漏。依序拔出工作套管,缝合切口。

术后次日佩戴胸腰支具下床活动,3~5d 出院。术后规范行抗骨质疏松治疗,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 分组及观察指标

依据末次随访时骨水泥椎体局部后凸角度丢失 $\geq 10^\circ$ (术后即时局部后凸角度-末次随访时局部后凸角度,后凸角测量方法:骨折椎体的上位椎体上终板和下位椎体下终板的夹角);或术后即刻与末次随访时椎体高度丢失率 $\geq 15\%$,具体计算方法为:侧位 X 线片上, $[(\text{上位椎体中线高度}+\text{下位椎体中线高度})/2-\text{骨折椎体中线高度}]/[(\text{上位椎体中线高度}+\text{下位椎体中线高度})/2]\times 100\%$ 定义为骨水泥椎体再塌陷^[3]。将局部后凸角度丢失 $\geq 10^\circ$ 、椎体高度丢失 $\geq 15\%$ 纳入再塌陷组;与之相反为未塌陷组。观察指标包括:①一般情况,患者的年龄、性别、体重指数、腰椎骨密度、胸腰段骨折、是否存在椎体内骨坏死等;②手术因素,手术方式、骨水泥量、骨水泥呈团块样分布还是均匀弥散样分布、骨折线区域骨水泥填充是否足够等;③术后资料,术后第 3 天、末次随访时的局部 Cobb 角及骨水泥椎体再塌陷例数等。

骨水泥团块样分布:骨水泥在椎体内呈坚实而紧密样团块分布,可呈一个坚实团块或 2 个坚实团块,团块周围椎体内骨小梁无骨水泥填充。

骨折区域骨水泥分布不足:结合手术前后 CT,判断骨折线周围是否骨水泥充分填充。

1.4 统计方法

采用统计软件 SPSS 21.0 进行统计学处理。

计量资料均采用表示, 术后 Cobb 角指标采用独立样本 t 检验, 对潜在危险因素进行二元单因素 Logistic 回归分析后, 纳入具有统计学意义的变量进行二元 Logistic 多因素回归分析, 以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

所有患者均顺利完成手术, 手术时间 35~50min, 平均 41.0 ± 3.5 min。共有 240 例患者获得最终随访, 随访时间 1~4 年, 平均随访 2.6 ± 1.1 年。共有 30 例 (12.5%) 患者出现骨水泥椎体再塌陷 (图 1、2), 其中 T11 5 例, T12 10 例, L1 6 例, L2 2 例, L3 2 例, L4 2 例, T6 2 例, T7 1 例。再塌陷组与未塌陷组一般资料见表 1。

未塌陷组术后 3d 的 Cobb 角 ($10.02^\circ\pm1.02^\circ$) 与再塌陷组术后 3d 的 Cobb 角 ($10.49^\circ\pm2.35^\circ$) 相比差异不具有统计学意义 ($P=0.057, t=1.912$)。但未次随访时再塌陷组 Cobb 角 ($23.85^\circ\pm6.36^\circ$) 显著高于未塌陷组 Cobb 角 ($13.22^\circ\pm4.73^\circ$) ($P=0.000, t=10.97$)。

单因素分析结果显示, 再塌陷组和未塌陷组在年龄、性别、体重指数、胸腰段骨折 (T10~L2)、手术方式之间的比较无显著差异 ($P>0.05$); 而再塌陷组的骨密度和骨水泥量明显低于未塌陷组

($P>0.05$), 再塌陷组中椎体内骨坏死 (40%)、骨水泥团块样 (43.33%) 和骨折区骨水泥不足 (50%) 的情况也显著高于未塌陷组 ($P<0.01$, 表 1)。

将单因素分析中具有统计学意义的潜在危险因素, 包括骨密度、骨水泥量、存在椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足, 代入 Logistic 回归分析。结果显示, 存在椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是 OVCF 患者经椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关因素 ($P<0.05$), 优势比 (OR) 值分别为 1.861、2.338 和 7.141 (表 2)。

3 讨论

目前, PVP 和 PKP 为临床上用于治疗 OVCF 的经典方法^[4], 然而仍存在部分椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的这一并发症。Kim 等^[5]报道, PKP 术后手术椎体再骨折发生时间为术后 3.4 个月, 发生率为 12.5%。Chen 等^[6]发现, 在其 134 例 OVCF 患者 PVP 术后椎体的再塌陷率为 9.7%。而且目前对于骨水泥椎体再塌陷的危险因素尚无统一观点: Hey 等^[7]研究指出, 低 BMD 是骨水泥强化术后手术椎体继发塌陷的危险因素; Heo 等^[8]随访发现, PVP 术后 11 例椎体再塌陷的患者中, 有 9 例在首次手术治疗前未经过正规的抗骨质疏松治

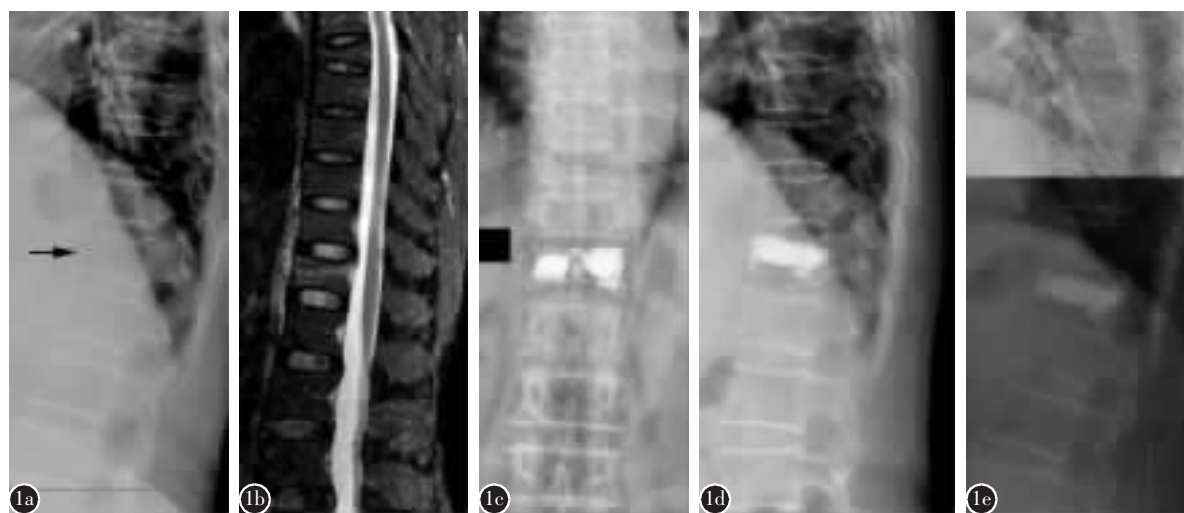


图 1 患者女, 70 岁 骨密度 $=-3.3SD$ a 术前侧位 X 线片示 T12 椎体压缩骨折、局部 Cobb 角 16.6° b 术前 MRI 抑脂像示 T12 椎体新鲜骨折 c、d 经皮强化术后 3d, 站立腰椎正侧位 X 线片示 T12 椎体内骨水泥呈团块样, 无均匀弥散 e 术后 2 年胸腰段侧位 X 线片示 T12 椎体塌陷, 局部 Cobb 角 24.2°

Figure 1 Female, 70 years, T12 OVCF, BMD (T score) was $-3.3SD$ a Preoperative X-rays showed T12 vertebral compression fracture, and the junctional kyphosis angle was 16.6° b Preoperative MRI (STIR) showed T12 fresh fracture c, d T12 PKP was performed with solid lump cement pattern observed from anteroposterior and lateral radiograph e The recollapse of T12 with Cobb angle 24.2° observed from lateral radiograph at postoperatively 2 years

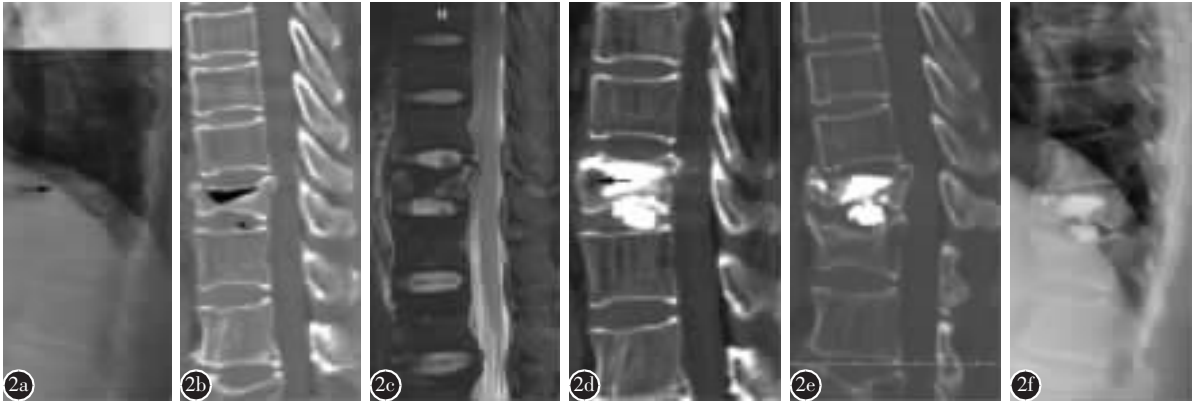


图 2 患者女,63 岁 骨密度=-2.8SD T11 OVCF 并椎体内骨坏死 **a** 术前侧位 X 线片示 T11 椎体骨折塌陷约 1/2 高度、局部 Cobb 角 17.1° **b** 术前 CT 示 T11 椎体变扁,椎体内见“真空征” **c** 术前 MRI 抑脂像示 T11 椎体内液体积聚、椎体塌陷 **d** 经皮强化术后 3d,CT 示 T11 椎体高度明显恢复,骨水泥在椎体内分布不足,部分真空裂隙未达到填充(黑色箭头指向),局部 Cobb 角 4° **e、f** 术后 2.6 年 CT/X 线片示 T11 椎体塌陷,局部 Cobb 角 23°

Figure 2 Female, 63 years, T11 OVCF with osteonecrosis, BMD(T score) was -2.8SD **a** Preoperative X-ray showed T11 compressed with 1/2 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 at 2.6 year postoperatively with Cobb angle 23° from lateral X-ray and CT

表 1 OVCF 患者经椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的单因素分析

Table 1 Univariate analysis of cemented vertebrae recollapse after percutaneous augmentation								
潜在危险因素 Variables	未塌陷组 n=210 Well-maintained group	再塌陷组 n=30 Recollapse group	β	S.E	Wals	P value	Exp(B)	95% CI
年龄 Age(years)	69.171±2.147	69.533±6.501	0.038	0.062	0.377	0.539	1.039	0.920~1.173
性别(男/女) Sex(M/F)	49/161	3/27	-1.008	0.630	2.558	0.110	0.365	0.106~1.255
体重指数 BMI(kg/m ²)	25.947±1.250	25.616±1.927	-0.184	0.147	1.565	0.211	0.832	0.623~1.110
骨密度(SD) BMD(T-score)	-3.402±0.324	-3.598±0.486	-1.603	0.579	7.661	0.006	0.201	0.065~0.626
椎体内骨坏死 Osteonecrosis	9/210	12/30	2.701	0.505	28.604	0.000	14.889	5.534~40.057
胸腰段骨折(T10-L2) Thoracolumbar fracture	155/210	23/30	0.153	0.459	0.112	0.738	1.166	0.474~2.868
手术方式(PKP/PVP) Operative approach	111/99	17/13	0.154	0.394	0.153	0.696	1.166	0.539~2.522
骨水泥量 Cement injected(ml)	4.157±1.089	3.813±0.741	-0.339	0.205	2.723	0.099	0.712	0.476~1.066
骨水泥团块样 Solid lump cement pattern	17/210	13/30	2.161	0.447	23.383	0.000	8.682	3.616~20.847
骨折区骨水泥不足 Insufficient cement distributing around fracture line area	19/210	15/30	2.308	0.437	27.856	0.000	10.053	4.267~23.685

疗,有 5 例术后对抗骨质疏松药物治疗的依从性较差,6 例患者合并椎体内骨坏死,因此认为术后是否规范抗骨质疏松治疗、合并椎体内骨坏死为手术椎体再塌陷的重要因素;Liang 等^[9]通过三维

有限元分析得出骨水泥在骨折区域分布不均匀是导致手术椎体再次塌陷的因素之一;也有学者认为,骨水泥量的不足、骨水泥弥散不充分是手术椎体再塌陷和术后腰痛的危险因素^[10-12]。本研究通

表 2 OVCF 患者经椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关因素分析

Table 2 Risk factors analysis of cemented vertebrae recollapse after percutaneous augmentation

潜在危险因素 Variables	β	S.E	Wals	P value	Exp(B)	95% CI
骨密度 BMD	-2.367	0.334	50.166	0.000	0.094	0.049~0.180
骨水泥量 Cement injected	-0.562	0.291	3.744	0.053	0.570	0.322~1.007
椎体内骨坏死 Osteonecrosis	0.621	0.860	0.522	0.047	1.861	0.345~10.037
骨水泥团块样 Solid lump cement pattern	0.849	0.733	1.343	0.024	2.338	0.556~9.828
骨折区骨水泥不足 Insufficient cement distributing around fracture line area	1.966	0.538	13.361	0.000	7.141	2.489~20.490

过单因素分析发现,低骨密度、填充骨水泥量不足、存在椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是 OVCF 经椎体强化后手术椎体再塌陷的危险因素。而进一步多因素分析,我们认为椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关因素分析。

椎体内骨坏死最早在 1985 年由德国外科医生 Kümmell 通过病例观察得出,也被称为创伤后椎体迟发性骨坏死、椎体内假关节、椎体内真空裂隙、迟发性椎体塌陷或椎体压缩性骨折不愈合。学者们^[13-15]通过深入研究发现,骨质疏松性椎体骨折后,骨折碎片易损伤椎旁相应的节段动脉,导致局部血供断裂,骨小梁发生缺血性坏死,最终导致伤椎进行性塌陷。Kim 等^[9]对 80 例行经椎体强化治疗的 OVCF 患者进行随访,发现 24 例椎体内有真空裂隙的患者中有 10 例发生再塌陷,他们总结此裂隙为强化椎体术后继发塌陷的高危因素。Kim 等^[16]再对此进行深入研究发现,PKP 可以缓解 Kümmell 病患者责任椎体的疼痛及恢复稳定性,但后期存在手术椎体再塌陷的可能。我们的研究也印证的同样的观点,30 例再塌陷患者中有 12 例(40%)为椎体内骨坏死患者,考虑主要与骨水泥在椎体裂隙内不能有效锚定、骨水泥不能与周围骨小梁紧密结合,使骨水泥在椎体内不能得到有效稳定所致。因此,我们认为对于此类患者,术中应使骨水泥弥散至裂隙周围的骨小梁内和骨水泥向后延伸至椎弓根内,形成“拖尾征”,以增加椎体内骨水泥的稳定性。

本课题组在前期研究了 581 例接受 PVP 及 PKP 治疗的 OVCF 患者中发生骨水泥椎体再塌陷

的情况^[17],发现术后伤椎再塌陷发生率在接受 PVP 治疗组中为 2.94%,而在接受 PKP 治疗的患者中再塌陷率为 16.19%,考虑其与骨水泥在伤椎体内易呈团块样分布相关。Tanigawa 等^[18]通过 X 线及 CT 观察 76 例 OVCF 患者行椎体强化术后骨水泥在椎体分布情况发现骨水泥呈结实团块状的患者新发椎体骨折率较高。而 PKP 术中使用的球囊在扩张过程中产生的推挤力会导致松质骨堆积在外周形成紧密的壁垒,阻碍了骨水泥的进一步扩张。在本研究中,对再塌陷组和未塌陷组患者的影像资料进行分析发现,再塌陷组中骨水泥呈团块样分布的患者占 43.33%,显著高于未塌陷组中骨水泥呈团块状分布的患者(8.09%)。通过单因素分析和多因素 Logistic 回归分析发现,骨水泥呈团块状分布是 OVCF 患者经椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷重要的相关因素(OR=2.338, $P=0.024$)。当注入的骨水泥在伤椎中的分布集中在中部呈团块样,未充分弥散,存在未被骨水泥加强的区域更多,再塌陷风险也随之增加^[5]。另外,在形成位置相对集中、形状比较规则的骨水泥团块时,在脊柱轴向负荷的情况下,会引起更大的应力集中在椎体上缘和下缘,最后导致手术椎体的再塌陷^[19]。Liang 等^[9]亦通过三维有限元研究得出骨水泥分布呈团块状时会增加周围松质骨的最大冯米斯应力,破坏未填充区域的松质骨,进而导致骨水泥椎体再塌陷的结论。因此本研究建议对 OVCF 患者进行椎体强化术的过程中,应尽量使骨水泥在椎体内充分弥散,并使其填充超过伤椎体积的 75%,避免呈团块样分布,从而提升骨水泥的固定效果。

同时,我们认为骨折区骨水泥不足同样是

OVCF患者经椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关因素。在本研究中,再塌陷组中骨折区骨水泥不足的情况占 50%,显著高于未塌陷组中骨折区骨水泥不足的比例(9.05%)。骨折区内骨水泥不足时难以维持骨折线周围骨质的稳定性,加之强化后更多应力集中在骨折线周围骨质,从而造成继发的再塌陷,降低手术疗效。Liang 等^[9]也通过生物力学探索提出,在骨折区骨水泥不足的情况下,手术椎体的位移值会显著增加,刺激椎体周围的神经引发痛觉感受,使得患者的疼痛在术后仍无法缓解。江晓兵等^[20]通过临床研究也发现,骨水泥在骨折区内充分弥散能够有效维持手术疗效和降低骨水泥椎体进展性后凸畸形。

综上所述,我们认为椎体内骨坏死、骨水泥呈团块样分布、骨折线区域骨水泥填充不足是椎体强化术后骨水泥椎体再塌陷的相关因素分析。当术前发现患者存在椎体内骨坏死时,需要更加警惕;同时,为了防止手术椎体发生再次塌陷,建议让骨水泥充分弥散椎体,而且使骨折线区域骨水泥填充充分。

4 参考文献

1. Ström O, Borgström F, Kanis JA, et al. Osteoporosis: burden, health care provision and opportunities in the EU: a report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation(IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations(EFPIA)[J]. Arch Osteoporos, 2011, 6: 59–155.
2. 张煜, 张绍东. 椎体成形术后手术椎体再塌陷的危险因素[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(5): 459–462.
3. Yu WB, Liang D, Yao ZS, et al. Risk factors for recollapse of the augmented vertebrae after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures with intravertebral vacuum cleft[J]. Medicine, 2017, 96(2): e5675.
4. Lavelle W, Carl A, Lavelle ED, et al. Vertebroplasty and kyphoplasty[J]. Anesthesiol Clin, 2007, 25(4): 913–928.
5. Kim YY, Rhyu KW. Recompression of vertebral body after balloon kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture[J]. Eur Spine J, 2010, 19(11): 1907–1912.
6. Chen YJ, Chen WH, Chen HT, et al. Repeat needle insertion in vertebroplasty to prevent re-collapse of the treated vertebrae[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(3): 558–561.
7. Hey HW, Tan JH, Tan CS, et al. Subsequent vertebral fractures post cement augmentation of the thoracolumbar spine: does it correlate with level-specific bone mineral density scores[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2015, 40(24): 1903–1909.
8. 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.
9. Liang D, Ye LQ, Jiang XB et al. Biomechanical effects of cement distribution in the fractured area on osteoporotic vertebral compression fractures: a three-dimensional finite element analysis[J]. J Surg Res, 2015, 195(1): 246–256.
10. Lin WC, Lee YC, Lee CH, et al. Refractures in cemented vertebrae after percutaneous vertebroplasty: a retrospective analysis[J]. Eur Spine J, 2008, 17(4): 592–599.
11. Chiu YC, Yang SC, Chen HS, et al. Clinical evaluation of repeat percutaneous vertebroplasty for symptomatic cemented vertebrae[J]. J Spinal Disord Tech, 2012, 25(8): E245–E253.
12. 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.
13. Matzaroglou C, Georgiou CS, Panagopoulos A, et al. Kümmell's disease: clarifying the mechanisms and patients' inclusion criteria[J]. Open Orthop J, 2014, 8: 288–297.
14. 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–S208.
15. Kim YC, Kim YH, Ha KY. Pathomechanism of intravertebral clefts in osteoporotic compression fractures of the spine [J]. Spine J, 2014, 14(4): 659–666.
16. Kim P, Kim SW. Balloon kyphoplasty: an effective treatment for Kümmell disease[J]. Korean J Spine, 2016, 13(3): 102–106.
17. 邢润麟, 张顺聪, 梁德, 等. 椎体成形术与椎体后凸成形术治疗骨质疏松性椎体压缩骨折术后伤椎再塌陷的对比研究[J]. 脊柱外科杂志, 2015, 13(4): 207–210.
18. Tanigawa N, Komemushi A, Kariya S, et al. Relationship between cement distribution pattern and new compression fracture after percutaneous vertebroplasty [J]. AJR Am J Roentgenol, 2007, 189(6): W348–W352.
19. 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.
20. 江晓兵, 莫凌, 梁德, 等. 骨水泥在椎体骨折线内弥散情况对椎体成形术治疗效果的影响[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2014, 24(2): 144–149.

(收稿日期:2017-08-21 末次修回日期:2017-11-07)

(英文编审 郑国权/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)