

· 临床论著 ·

经皮椎体成形术 Mimics 软件骨水泥弥散率评估的意义[△]

李华, 王云清, 乔梁, 周呈强, 张姚

(徐州医科大学第二附属医院, 江苏徐州 221006)

摘要: [目的] 利用 Mimics 软件计算经皮椎体成形术 (percutaneous vertebroplasty, PVP) 后骨水泥弥散率, 探讨其对经皮椎体成形术的意义。[方法] 回顾性分析 2021 年 3 月—2022 年 12 月在本院行 PVP 治疗患者的临床资料, 依据骨水泥弥散率随机选取高弥散率组 (弥散率 $\geq 20\%$)、中弥散率组 ($10\% < \text{弥散率} < 20\%$)、低弥散率组 (弥散率 $\leq 10\%$) 各 40 例患者, 比较三组围手术期、随访及影像资料, 计算弥散率与末次随访临床和影像资料的相关性。[结果] 高弥散率组的骨水泥注入量显著大于中弥散率组和低弥散率组 [(7.5 \pm 1.1) ml vs (6.6 \pm 1.3) ml vs (6.4 \pm 1.2) ml, $P < 0.001$], 高弥散率组骨水泥弥散率显著大于中弥散率组和低弥散率组 [(22.4 \pm 1.5)% vs (14.8 \pm 2.4)% vs (8.2 \pm 1.0)%, $P < 0.001$]。高弥散率组二次骨折率显著低于中弥散率组和低弥散率组 [例 (%), 2 (5.0) vs 5 (12.5) vs 10 (25.0), $P < 0.001$]。三组患者术后 VAS 及 ODI 评分均显著减少 ($P < 0.05$), 高弥散率组术后 1 年 VAS 评分显著小于中弥散率组和低弥散率组 [(1.7 \pm 0.7) vs (2.2 \pm 0.8) vs (2.3 \pm 0.5), $P < 0.001$]。影像方面, 三组患者术后椎体前缘高度、椎体前缘高度比、局部后凸角均显著改善 ($P < 0.05$)。术后 1 年时, 高弥散率组及中弥散率组椎体前缘高度显著大于低弥散率组 [(23.1 \pm 2.1) mm vs (22.2 \pm 3.1) mm vs (21.6 \pm 1.5) mm, $P < 0.001$], 高弥散率组及中弥散率组椎体前缘高度比均显著大于低弥散率组 [(82.6 \pm 7.9)% vs (80.7 \pm 4.9)% vs (77.0 \pm 5.0)%, $P < 0.001$]。两两相关分析表明, 弥散率与 VAS 评分呈显著负相关 ($r = -0.333$, $P < 0.001$), 与椎体前缘高度比 ($r = 0.345$, $P < 0.001$) 和椎体前缘高度 ($r = 0.285$, $P = 0.002$) 呈显著正相关。[结论] 本研究中 Mimics 软件计算的弥散率越高, 患者的临床与影像结果就越优, 术后二次骨折率越低。

关键词: Mimics, 经皮椎体成形术, 骨水泥, 弥散率

中图分类号: R687

文献标志码: A

文章编号: 1005-8478 (2024) 15-1359-07

Significance of Mimics software calculated bone cement distribution rate for evaluation of percutaneous vertebroplasty // Li Hua, WANG Yun-qing, QIAO Liang, ZHOU Cheng-qiang, ZHANG Yao. The Second Affiliated Hospital, Xuzhou Medical University, Xuzhou 221006, China

Abstract: [Objective] To evaluate the significance of Mimics software calculated bone cement distribution rate (DR) for evaluation of percutaneous vertebroplasty (PVP). [Methods] A retrospective study was conducted on the patients who received PVP in our hospital from March 2021 to December 2022. According to the bone cement DR measured on the Mimics software, 40 patients with high distribution rate (HDR) ($DR \geq 20\%$), 40 with medium diffusion rate (MDR) ($10\% < DR < 20\%$) and 40 with low distribution rate (LDR) ($DR \leq 10\%$) were selected and enrolled into this study. Perioperative, follow-up and imaging data of the three groups were compared, and the paired correlation between DR and clinical and imaging data at the last follow-up was analyzed. [Results] The HDR cohort proved significantly greater than the MDR and LDR cohorts in terms of bone cement injection volume [(7.5 \pm 1.1) ml vs (6.6 \pm 1.3) ml vs (6.4 \pm 1.2) ml, $P < 0.001$], and the bone cement diffusion [(22.4 \pm 1.5)% vs (14.8 \pm 2.4)% vs (8.2 \pm 1.0)%, $P < 0.001$]. However, the HDR cohort was significantly less than the MDR and LDR cohorts in the secondary fracture occurrence [case (%), 2 (5.0) vs 5 (12.5) vs 10 (25.0), $P < 0.001$]. The VAS and ODI scores significantly decreased with time in all three groups ($P < 0.05$), and the VAS score in the HDR group was significantly lower than those in the MDR group and LDR group at 1 year after surgery [(1.7 \pm 0.7) vs (2.2 \pm 0.8) vs (2.3 \pm 0.5), $P < 0.001$]. As for imaging, the vertebral anterior margin height, vertebral anterior margin height ratio, and local kyphotic angle significantly improved in all three groups postoperatively compared with those preoperatively ($P < 0.05$). At 1 year after surgery, the vertebral anterior margin height in HDR and MDR groups was significantly higher than that in LDR group [(23.1 \pm 2.1) mm vs (22.2 \pm 3.1) mm vs (21.6 \pm 1.5) mm, $P < 0.001$], while the vertebral anterior margin height ratio in the HDR and MDR groups was significantly higher than that in the LDR group [(82.6 \pm 7.9)% vs (80.7 \pm 4.9)% vs (77.0 \pm 5.0)%, $P < 0.001$]. As results of paired correlation analysis, the DR was a significant negative correlated with VAS score ($r = -0.333$, $P < 0.001$), while positively correlated

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100492

△基金项目:徐州市重点研发计划项目(编号:KC22204)

作者简介:李华,主任医师,研究方向:脊柱外科,(电子信箱)xuzhoulih@126.com

with the height of the anterior vertebral margin ($r=0.345, P<0.001$) and vertebral anterior margin height ($r=0.285, P=0.002$). [Conclusion] In this study, the higher the distribution rate calculated by Mimics software, the better the clinical and imaging results of patients, and the lower the postoperative secondary fracture rate.

Key words: Mimics software, percutaneous vertebroplasty, bone cement, distribution rate

在老年患者中,随着骨量的丢失,骨质疏松的情况尤为普遍,其中常见并发症之一便是脊柱骨质疏松性压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)^[1]。经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)是治疗 OVCF 的有效方法^[2],能迅速缓解疼痛,提高患者生活质量,显著预防椎体的塌陷,防止脊柱畸形的发生^[3],已经被广泛应用于临床^[4]。然而,在 PVP 治疗中,骨水泥的注入量、位置和分布等因素对治疗效果和并发症发生率起着重要的影响^[5, 6],过多的骨水泥注入量会增加骨水泥渗漏的风险^[7],并会影响脊柱的侧弯及扭动^[8]。因此,准确测算骨水泥的量和弥散情况,对 PVP 的治疗效果有一定的预判作用^[9, 10]。

以往对于骨水泥分布的分析都是依据 X 线片或者 CT 进行的^[11, 12],但仅能从二维平面判断骨水泥分布情况,无法从三维角度准确了解。Mimics 软件是一种可以处理 CT 或 MRI 等医学图像的三维重建软件,可以准确计算出椎体骨折部位的骨水泥注入量和分布,为 PVP 治疗提供了重要的帮助^[13]。目前对于 Mimics 软件计算骨水泥体积分数在 PVP 治疗 OVCF 的临床意义研究还比较少。本研究通过利用 Mimics 软件计算 PVP 术后骨水泥弥散率对 OVCF 疗效的评判,探讨 PVP 术后弥散率与临床疗效的相关性,为椎体成形术的中远期效果提供评判依据,以提高手术疗效,降低医疗成本和家庭社会负担。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准:(1)胸腰椎单节段的压缩性骨折(图 1a, 1b);(2)MRI 上显示椎体 T2 加权图像高信号、T1 加权图像低信号、短时反转恢复(STIR)图像高信号;(3)腰椎骨密度在双能 X 线吸收法上平均值 <-2.5 ;(4)无 PVP 手术史。

排除标准:(1)资料数据不完整,不能配合随访的患者;(2)病理性原因造成的椎体骨折,如骨髓瘤、转移癌、血管瘤、结核等;(3)合并脊髓或神经根损伤的患者;(4)需要长期使用激素的患者。

1.2 一般资料

回顾性分析 2021 年 3 月—2022 年 12 月诊断为 OVCF 并接受 PVP 治疗患者的临床资料,从 776 例椎体成形术治疗患者中筛选符合纳入标准的患者,根据骨水泥在椎体内弥散率分为高弥散率组、中弥散率组和低弥散率组,再利用随机数字表法从每一组中随机挑选 40 例,共 120 例患者纳入本研究。三组患者年龄、性别、BMI、病程、病变节段、合并高血压及糖尿病的差异均无统计学意义($P>0.05$)。本研究得到医院伦理委员会批准(批号: XZKWTZY- AF-023/02.0),所有患者均知情同意。

1.3 手术方法

所有患者采用相同的手术方式,由同一科室相同职称的医生完成。患者俯卧位,双手上举,肩和骨盆垫枕,伤椎位于手术床腰桥处,以获得椎体初步复位。然后,调整 G 形臂 X 线机和患者的位置,以获得标准的前后位和侧位 X 线图像(前后位图像上的双侧椎弓根对称,侧位图像上的椎弓根重叠)。穿刺点位于双侧椎弓根的外上侧。达要求后常规消毒铺巾,予以 0.5% 的利多卡因局部麻醉。在穿刺过程中,根据透视图像不断调整穿刺方向,逐渐达到椎体后缘前约 3 mm。然后依次放置导丝、扩张导管和工作导管,小心地推入聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)骨水泥,在推注骨水泥的过程中间断行 X 线透视检查,见骨水泥弥散分布椎体前 2/3 部分时停止推注。待骨水泥凝固后拔出推杆及套筒,按压伤口止血后包扎伤口。手术后 2 h 左右允许患者下地行走。所有患者在手术后接受了抗骨质疏松治疗。

1.4 评价指标

骨水泥弥散率及分组方法:根据 Mimics 软件计算骨水泥弥散体积和伤椎体积,骨水泥弥散率=骨水泥弥散体积/伤椎体积(图 1c~1f)。依据骨水泥弥散率将患者分为低弥散率组(弥散率 $\leq 10\%$)、中弥散率组($10\% < 弥散率 < 20\%$)和高弥散率组(弥散率 $\geq 20\%$)。

记录围手术期情况,包括手术时间、术中透视次数、骨水泥注入量、骨水泥渗漏、骨水泥弥散率、术后卧床时间、住院时间。采用疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)及二次骨折及邻椎骨折情况

评价临床效果。行影像检查，记录伤椎前缘高度、椎体高度比率和局部后凸角。椎体前缘高度定义为骨折椎体在 X 线片测量的椎体前缘的高度。椎体前缘高度比是骨折椎体前缘高度与上下相邻椎体前高度平均值的比率。局部后凸角是骨折椎体的后凸 Cobb 角，即骨折椎体的上终板与下终板之间的角度。

1.5 统计学方法

应用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析，计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，资料呈正态分布时，采用单因素方差分析，两两比较采用 LSD 法。计数资料采用 χ^2 检验。骨水泥弥散率与末次随访的 VAS、ODI 和影像资料行 Pearson 相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

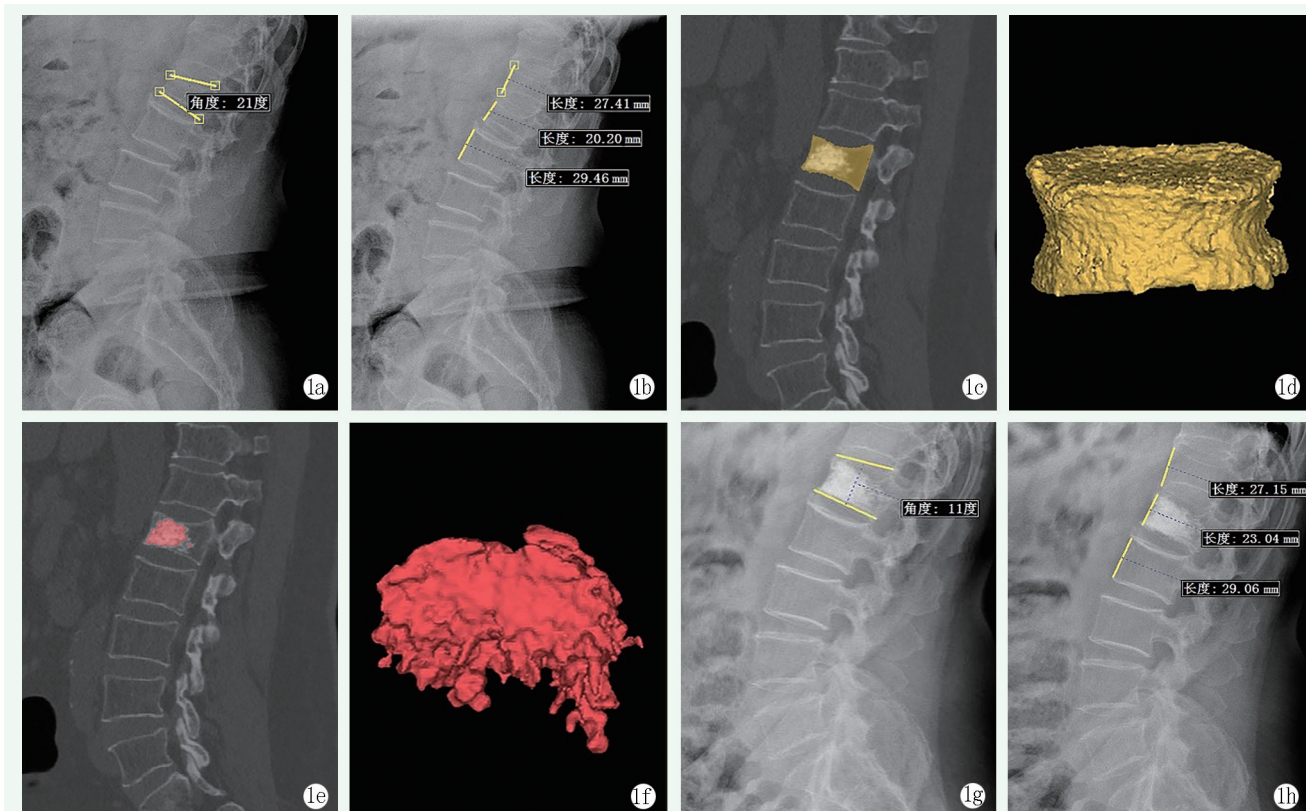


图 1. 患者女性，75 岁。1a, 1b: 术前 X 线片显示伤椎局部后凸角 21°，椎体前缘高度比为 71.0%；1c, 1d: 重建椎体体积；1e, 1f: 重建骨水泥体积，测算出骨水泥弥散率为 22.5%；1g, 1h: 术后 1 年随访 X 线片显示伤椎局部后凸角 11°，椎体前缘高度比为 82.0%。

Figure 1. A 75-year-old female. 1a, 1b: Preoperative X-rays showing local kyphotic angle of 21° at the injured vertebra, and anterior vertebral body height ratio of 71.0%; 1c, 1d: Reconstructed vertebral body volume; 1e, 1f: Reconstructed bone cement volume, the bone cement dispersion rate was calculated as 22.5%; 1g, 1h: X-rays 1-year follow-up showed local kyphotic angle of 11° at the injured vertebra, and anterior vertebral body height ratio of 82.0%.

2 结果

2.1 围手术期资料

三组患者围手术期资料比较见表 1。三组患者术中穿刺调整次数、手术时间、透视次数、骨水泥渗漏、术后卧床时间和住院时间的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。高弥散率组的骨水泥注入量显著大于中弥散率组和低弥散率组 ($P < 0.05$)。中弥散率组与低弥散率组之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。高弥散率组骨水泥弥散率显著大于中弥散率和低弥散率组 ($P < 0.05$)，中弥散率组也显著大于低弥散率组 ($P <$

0.05)。

2.2 随访情况

所有患者均获 1 年以上随访，三组患者随访结果见表 2，高弥散率组二次骨折率显著低于中弥散率组和低弥散率组 ($P < 0.05$)，中弥散率组与低弥散率组之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。三组的邻椎骨折率差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。与术前相比，三组患者术后 1 d 及术后 1 年的 VAS 及 ODI 评分均显著减少 ($P < 0.05$)，高弥散率组术后 1 年 VAS 评分显著小于低弥散率组 ($P < 0.05$)。其他相应时间点，三组间 VAS、ODI 评分的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 1. 三组患者一般资料和围手术期资料比较
Table 1. Comparison of general and perioperative data between the three groups

指标	高弥散率组 (n=40)	中弥散率组 (n=40)	低弥散率组 (n=40)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	74.3±5.7	72.8±5.0	73.6±4.8	0.155
性别 (例, 女/男)	29/11	24/16	28/12	0.450
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	26.9±3.7	28.1±4.1	27.2±4.5	0.367
高血压 (例, 有/无)	11/29	9/31	7/33	0.564
糖尿病 (例, 有/无)	8/32	7/33	8/32	0.948
节段 (例, 下胸椎/腰椎)	20/20	21/19	18/22	0.792
病程 (d, $\bar{x} \pm s$)	6.7±4.9	8.2±5.9	6.8±6.1	0.967
穿刺调整次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	3.5±1.7	3.7±1.5	3.9±1.8	0.646
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	37.9±6.7	35.7±5.6	35.1±5.9	0.104
透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	22.6±4.4	22.8±5.6	21.5±4.0	0.409
骨水泥量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	7.5±1.1	6.6±1.3	6.4±1.2	<0.001
骨水泥渗漏 [例 (%)]	4 (10.0)	2 (5.0)	2 (5.0)	0.585
骨水泥弥散率 (%, $\bar{x} \pm s$)	22.4±1.5	14.8±2.4	8.2±1.0	<0.001
术后卧床时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	6.7±3.6	6.8±2.4	5.5±3.1	0.119
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	2.7±1.8	2.4±1.5	2.2±1.3	0.293

表 2. 三组患者随访资料的比较
Table 2. Comparison of follow-up data among three groups of patients

指标	时间点	高弥散率组 (n=40)	中弥散率组 (n=40)	低弥散率组 (n=40)	P 值
二次骨折 [例 (%)]		2 (5.0)	5 (12.5)	10 (25.0)	0.035
邻椎骨折 [例 (%)]		4 (10.0)	4 (10.0)	3 (7.5)	0.905
VAS 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	术前	7.1±0.8	7.3±1.1	7.2±1.1	0.653
	术后 1 d	2.3±0.5	2.0±0.8	2.1±1.0	0.132
	术后 1 年	1.7±0.7	2.2±0.8	2.3±0.5	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
ODI 评分 (%, $\bar{x} \pm s$)	术前	63.7±8.7	62.3±10.7	63.9±10.7	0.743
	术后 1 d	19.6±4.3	18.9±4.2	19.9±4.9	0.588
	术后 1 年	17.2±4.6	18.3±4.1	18.9±4.6	0.260
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

三组患者影像评估结果见表 3, 与术前相比, 术后 1 d 及术后 1 年, 三组患者椎体前缘高度、椎体前缘高度比均显著增加 ($P<0.05$), 局部后凸角均显著减小 ($P<0.05$) (图 1g, 1h)。术前及术后 1 d, 三组椎体前缘高度的差异无统计学意义 ($P>0.05$), 术后 1 年时, 高弥散率组及中弥散率组椎体前缘高度显著大于低弥散率组 ($P<0.05$)。三组术前椎体前缘高度比的差异无统计学意义 ($P>0.05$), 在术后 1 d 时, 高弥散率组椎体前缘高度比显著大于低弥散率组 ($P<0.05$), 术后 1 年时, 中弥散率组及高弥散率组椎

体前缘高度比均显著大于低弥散率组 ($P<0.05$)。相应时间点, 三组间局部后凸角的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.4 弥散率与末次随访临床和影像资料的两两相关分析

Mimic 软件计算骨水泥弥散率与末次随访数据相关分析结果见表 4。弥散率与 ODI 和局部后凸角无显著相关性, ($P>0.05$)。弥散率与 VAS 评分呈显著负相关 ($r=-0.333, P<0.001$), 与椎体前缘高度比 ($r=0.345, P<0.001$)、椎体前缘高度 ($r=0.285, P=0.002$) 呈显著正相关。

表 3. 三组患者影像测量结果 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

Table 3. Comparison of imaging data among three groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

指标	时间点	高弥散率组 (n=40)	中弥散率组 (n=40)	低弥散率组 (n=40)	P 值
椎体前缘高度 (mm)	术前	19.5±1.8	18.8±2.7	19.8±2.3	0.121
	术后 1 d	23.5±2.5	22.6±2.4	22.4±2.0	0.069
	术后 1 年	23.1±2.1	22.2±3.1	21.6±1.5	0.006
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
椎体前缘高度比 (%)	术前	70.4±11.5	69.5±12.0	70.9±12.2	0.871
	术后 1 d	83.5±8.2	81.9±5.1	79.0±7.0	0.015
	术后 1 年	82.6±7.9	80.7±4.9	77.0±5.0	<0.001
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	
局部后凸角 (°)	术前	15.8±4.5	15.9±5.4	17.0±5.9	0.519
	术后 1 d	9.1±2.6	9.1±2.5	8.2±3.1	0.236
	术后 1 年	9.8±2.3	9.6±2.2	9.1±3.6	0.560
	P 值	<0.001	<0.001	<0.001	

表 4. Mimic 骨水泥弥散率与末次随访资料相关分析
Table 4. Correlation analysis between Mimic bone cement dispersion rate and last follow-up data

指标	r 值	P 值
VAS 评分	-0.333	<0.001
ODI 评分	-0.155	0.091
椎体前缘高度	0.285	0.002
椎体前缘高度比	0.345	<0.001
局部后凸角	0.078	0.400

3 讨论

PVP 通过较小的创伤缓解了患者的症状, 是治疗骨质疏松性椎体骨折广泛使用的治疗方法^[14]。PVP 治疗效果与骨水泥的注入量也不是完全等价的关系, 还与骨水泥的分布有很大的关系^[15]。并且, 过多的骨水泥量, 会增加邻近椎体的应力, 增加邻椎骨折的风险^[7, 16]。骨水泥在椎体内的分布受到骨水泥黏度、骨密度和穿刺技术等多种因素的影响^[17]。研究表明, 骨水泥在椎体内分布对 PVP 的临床效果有明显的影 响^[18]。有学者报道, “H” 形骨水泥分布方式可以增加骨水泥与椎体松质骨的接触面积, 从而增加二者之间的结合, 减少二者之间的磨擦, 缓解残余疼痛^[19]。因此, 骨水泥的黏稠度为 50~100 Pas 最佳^[20], 能达到更好的弥散效果。由于个体椎体大小不同, 相比于单纯的骨水泥注入量, 骨水泥弥散率更适用于不同个体和不同脊柱节段的评估。然而, 由于椎体内部的骨水泥和椎体本身都属于不规则物体, 传

统的临床影像成像技术难以准确计算它们的体积。凭借 Mimics 软件强大的重建计算功能, 不仅可以对椎体中的骨水泥形态进行三维观察, 能够实现对骨水泥形态的重建, 并准确计算骨水泥的弥散体积和弥散体积容积率^[21]。

PVP 术后, 患者的 VAS 评分和 ODI 及椎体前缘高度、椎体前缘高度比和局部后凸角较术前显著改善。因此, 在缓解患者疼痛的同时, PVP 对于恢复椎体前缘高度、矫正后凸并保持脊柱矢状位平衡是非常必要的。如果骨水泥能够充分弥散, 将能够有很好的支撑作用, 有助于防止再次塌陷或再次发生骨折^[22]。PVP 术后, 骨水泥的存在可能会增加邻近椎间盘终板的压力, 改变相应终板的结构, 从而增加邻椎骨折以及伤椎再次骨折的风险^[23]。本研究中, 高弥散率组骨水泥量更多, 也有更好的弥散率, 但并未增加邻椎骨折的风险。相反, 骨水泥填充分布不理想的情况, 则更容易出现二次骨折, 本研究中的低弥散率组患者二次骨折发生率便高于高弥散率组。

OVCF 患者由于骨质疏松的原因, 由于骨水泥没能起到支撑作用, 所以在术后 1 年时, 低弥散率组的椎体前缘高度及椎体前缘高度比均明显低于中弥散率组和高弥散率组。有研究发现, 骨水泥的成块分布被认为是导致 PVP 后椎体再次压缩的重要风险因素^[24]。所以, 骨水泥的充分弥散在 PVP 手术中很关键。当然, 术后椎体高度的丧失并不一定会导致临床症状或功能障碍。有患者即使在椎体高度丧失后, 仍然能够保持良好的生活质量, ODI 没有明显增加。然而, 椎体再次压缩可能会增加二次骨折和其他并发症

的风险，低弥散率组在术后1年内二次骨折率较高，VAS评分也是较高的。VAS评分与椎体的二次骨折具有一定的相关性^[25]。

总之，利用Mimics软件计算PVP术后骨水泥弥散率，弥散率越高，患者的临床与影像结果就越优，术后二次骨折率越低。对弥散率较低的患者进行密切监测和随访，将有助于减少并发症的发生。

参考文献

- [1] 中华医学会骨科学分会. 骨质疏松性骨折诊疗指南(2022年版)[J]. 中华骨科杂志, 2022, 42(22): 1473-1491. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00377.
Chinese Orthopaedic Association. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoporotic fractures (2022 edition) [J]. Chinese Journal of Orthopaedics, 2022, 42(22): 1473-1491. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220704-00377.
- [2] 李传仁, 王文军, 王麓山, 等. 三种椎体增强技术在骨质疏松性椎体压缩骨折中的应用与比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2006, 14(8): 625-626. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2006.08.022.
Li CR, Wang JS, Wang LS, et al. Outcome comparison among three vertebral augmentation techniques for vertebral compression fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2006, 14(8): 625-626. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2006.08.022.
- [3] 朱新炜, 高浩源, 邱思强, 等. PVP治疗老年骨质疏松性椎体非压缩性骨折的疗效观察[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21(4): 342-345. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2013.04.06.
Zhu XW, Gao HY, Qiu SQ, et al. Efficacy of percutaneous vertebroplasty in treating vertebral osteoporotic non-compression fracture [J]. Orthopedic Journal of China, 2013, 21(4): 342-345. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2013.04.06.
- [4] 中国康复医学会骨质疏松预防与康复专业委员会. 骨质疏松性椎体压缩骨折诊治专家共识(2021版)[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(41): 3371-3379. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210625-01436.
Osteoporosis Prevention and Rehabilitation Committee of Chinese Rehabilitation Society. Expert Consensus on the Management and Treatment of osteoporotic Vertebral Compression Fractures (2021 edition) [J]. National Medical Journal of China, 2021, 101(41): 3371-3379. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20210625-01436.
- [5] 王惠东, 姚方超, 傅智轶, 等. 经皮椎体成形术治疗老年骨质疏松性胸腰椎压缩性骨折术中骨水泥渗漏的相关因素[J]. 脊柱外科杂志, 2019, 17(3): 192-197. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.03.009.
Wang HD, Yao FC, Fu ZT, et al. Factors related to bone cement leakage during percutaneous vertebroplasty for elderly osteoporotic thoracolumbar vertebral compression fractures [J]. Journal of Spinal Surgery, 2019, 17(3): 192-197. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.03.009.
- [6] 高超, 郁春, 管礼安, 等. 骨质疏松性胸腰椎骨折经皮椎体成形术后骨水泥分布类型对疗效的影响[J]. 中国医药导报, 2023, 20(3): 84-87. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2023.03.19.
Gao C, Yun C, Guan LA, et al. Effect of bone cement distribution on curative effect after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar fractures [J]. China Medical Herald, 2023, 20(3): 84-87. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2023.03.19.
- [7] 张帅, 王清, 杨进, 等. 经皮椎体后凸成形术骨水泥椎管内渗漏发生率及相关危险因素分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(24): 2244-2249. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.24.08.
Zhang S, Wang Q, Yang J, et al. Incidence and risk factors of intraspinal bone cement leakage in percutaneous kyphoplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2018, 26(24): 2244-2249. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.24.08.
- [8] 李文银, 尹红灵, 蒋钰钢. PVP术中腰椎不同骨水泥注入量的有限元分析[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(18): 1695-1700. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.16.
Li WY, Yin HL, Jiang YG. A finite element analysis on different volume of bone cement injected into lumbar vertebral body in percutaneous vertebroplasty [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28(18): 1695-1700. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.18.16.
- [9] 杨军. 经皮椎体成形术治疗骨质疏松性脊柱骨折的骨水泥弥散分布与临床疗效的相关研究[J]. 中国骨伤, 2019, 32(12): 1128-1133. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.12.012.
Yang J. Correlation between the distribution of bone cement and clinical efficacy in the treatment of osteoporotic spinal fractures with percutaneous vertebroplasty [J]. China Journal of Orthopaedics and Traumatology, 2019, 32(12): 1128-1133. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2019.12.012.
- [10] Li Z, Xu Y, Xu W, et al. The correlation between the diffusion coefficient of bone cement and efficacy in percutaneous vertebroplasty [J]. Orthopedics, 2021, 44(1): e95-e100. DOI: 10.3928/01477447-20201009-02.
- [11] TRyu KS, Huh HY, Jun SC, et al. Single-balloon kyphoplasty in osteoporotic vertebral compression fractures: far-lateral extrapedicular approach [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2009, 45(2): 122-126. DOI: 10.3340/jkns.2009.45.2.122.
- [12] 周权发, 刘宏建, 寇红伟, 等. 弯角椎体成形装置的早期疗效评估及对骨水泥分布的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(10): 892-897. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2017.10.07.
Zhou QF, Liu HJ, Kou HW, et al. A cured puncture device for percutaneous vertebroplasty: early clinical outcome and its influence on cement distribution [J]. Orthopedic Journal of China, 2017, 25(10): 892-897. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2017.10.07.
- [13] Zhou C, Liao Y, Chen H, et al. Analysis of optimal volume fraction percentage and influencing factors of bone cement distribution in vertebroplasty using digital techniques [J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 235. DOI: 10.1186/s13018-023-03719-3.
- [14] Burval DJ, McLain RF, MilksR, et al. Primary pedicle screw augmentation in osteoporotic lumbar vertebrae: biomechanical analysis of pedicle fixation strength [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32(10): 1077-1083. DOI: 10.1097/01.brs.0000261566.38422.40.

- [15] 李世梁, 连育才, 孙海东, 等. 骨水泥分布系数及骨水泥量与经皮椎体后凸成形术早期疗效相关性分析 [J]. 重庆医学, 2019, 48 (5) : 870-872, 877. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2019.05.037.
Li SL, Sun YC, Sun HD, et al. Correlation analysis of bone cement distribution coefficient and bone cement quantity with early curative effect of percutaneous kyphoplasty [J]. Chongqing Medicine, 2019, 48 (5) : 870-872, 877. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2019.05.037.
- [16] 杨小彬, 贺宝荣, 郝定均, 等. 不同骨水泥量在 PKP 术后对相邻节段生物力学影响的有限元分析 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2016, 31 (1) : 40-43. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2016.01.013.
Yang XB, He BR, Hao DJ, et al. Biomechanical finite element analysis of adjacent vertebral bodies following percutaneous kyphoplasty with different amount of bone cement [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2016, 31 (1) : 40-43. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2016.01.013.
- [17] Zhang L, Wang Q, Wang L, et al. Bone cement distribution in the vertebral body affects chances of recompression after percutaneous vertebroplasty treatment in elderly patients with osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Clin Interv Aging, 2017, 12: 431-436. DOI: 10.2147/cia.S113240.
- [18] Zhang ZF, Huang H, Chen S, et al. Comparison of high- and low-viscosity cement in the treatment of vertebral compression fractures: a systematic review and meta-analysis [J]. Medicine (Baltimore), 2018, 97 (12) : e0184. DOI: 10.1097/md.00000000000010184.
- [19] He S, Zhang Y, Lv N, et al. The effect of bone cement distribution on clinical efficacy after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98 (50) : e18217. DOI: 10.1097/md.00000000000018217.
- [20] Loeffel M, Ferguson S, Nolte L, et al. Vertebroplasty: experimental characterization of polymethylmethacrylate bone cement spreading as a function of viscosity, bone porosity, and flow rate [J]. Spine, 2008, 33: 1352-1359. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181732aa9.
- [21] 江晓兵, 黄伟权, 庞智晖, 等. 基于 Mimics 软件计算椎体强化术后椎体内骨水泥体积及骨水泥/椎体体积比的新方法 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23 (3) : 238-243. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.03.09.
Jiang XB, Huang WQ, Pang ZH, et al. A new method for calculating the volume of intravertebral bone cement and the ratio of intravertebral bone cement to vertebral body after vertebral augmentation based on Mimics software [J]. Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2013, 23 (3) : 238-243. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.03.09.
- [22] Yu W, Liang D, Yao Z, et al. Risk factors for recollapse of the augmented vertebrae after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures with intravertebral vacuum cleft [J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96 (2) : e5675. DOI: 10.1097/md.00000000000005675.
- [23] 贺宝荣, 许正伟, 郝定均, 等. 骨水泥在骨质疏松性骨折椎体内分布状态与生物力学性能的关系 [J]. 中华骨科杂志, 2012, 32 (8) : 768-773. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2012.08.011.
He BR, Xu ZW, Hao DJ, et al. Biomechanical effect of bone cement volume and distribution on lumbar vertebral body with osteoporotic fracture [J]. Chinese Journal of Orthopaedics, 2012, 32 (8) : 768-773. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2012.08.011.
- [24] Hou Y, Yao Q, Zhang G, et al. Polymethylmethacrylate distribution is associated with recompression after vertebroplasty or kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a retrospective study [J]. PLoS One, 2018, 13 (6) : e0198407. DOI: 10.1371/journal.pone.0198407.
- [25] Dai C, Liang G, Zhang Y, et al. Risk factors of vertebral re-fracture after PVP or PKP for osteoporotic vertebral compression fractures, especially in Eastern Asia: a systematic review and meta-analysis [J]. J Orthop Surg Res, 2022, 17 (1) : 161. DOI: 10.1186/s13018-022-03038-z.

(收稿:2023-07-12 修回:2024-03-04)

(同行评议专家: 钱列, 杨效宁, 孙焕建, 何玉泽)

(本文编辑: 闫承杰)