

· 临床研究 ·

预测骨质疏松性椎体压缩骨折经皮椎体成形术后残余背痛的列线图

李军科, 马续彬, 李亮, 马晴, 王旭东
(邯郸市第一医院创伤骨科, 河北 邯郸 056000)

【摘要】 目的: 构建预测骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCFs)经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)后残余背痛(residual back pain, RBP)的列线图。方法: 回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月 245 例接受 PVP 治疗的 OVCFs 患者的临床资料, 男 47 例, 女 198 例, 年龄 65~77(71.47±9.03)岁, 根据是否发生 RBP 分为 RBP 组与无 RBP 组。收集患者的性别、年龄、合并症情况、骨折发生节段、身体质量指数(body mass index, BMI)、骨密度(bone mineral density, BMD)、视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)等一般资料; 以及术前与术后 24 h 的影像学参数, 包括椎体前缘高度(anterior vertebral height, AVH)、椎体前缘高度比(anterior vertebral height ratio, AVHR)、Cobb 角、椎体内真空裂(intravertebral vacuum cleft, IVC)、胸腰筋膜(thoracolumbar fascia, TLF)损伤、椎旁肌脂肪变性、骨水泥注射量、骨水泥渗漏、骨水泥弥散形态、椎体前缘高度恢复比(anterior vertebral height recovery ratio, AVHRR)、Cobb 角变化等。对以上因素进行单因素分析, 再采用多因素 Logistic 回归模型筛选术后发生 RBP 的独立危险因素, 并完成 Nomogram 模型的构建与验证, 分别采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线和校准曲线进行模型的预测性能和准确性的判定, 另采用 Hosmer-Lemeshow(H-L)检验进行评估, 计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC), 使用 Harrell 一致性指数(C 指数)评价模型的预测效能, 使用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评价模型的临床实用性。结果: RBP 组 34 例, 无 RBP 组 211 例。两组性别、年龄、合并症、骨折节段、BMI、BMD、VAS 及 ODI、AVH、AVHR、Cobb 角等比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。单因素分析结果显示: RBP 组 6 例出现 IVC, 无 RBP 组 13 例, RBP 组 IVC 比例高于无 RBP 组($\chi^2=5.400, P=0.020$); RBP 组 6 例出现 TLF 损伤, 无 RBP 组 11 例, RBP 组 TLF 损伤比例高于无 RBP 组($\chi^2=7.011, P=0.008$); RBP 组椎旁肌脂肪变性 3-4 级为 18 例, 无 RBP 组为 41 例, RBP 组高于无 RBP 组($\chi^2=21.618, P<0.001$), RBP 组骨水泥弥散形态为团块型比例高于无 RBP 组($\chi^2=6.836, P=0.009$)。多因素 Logistic 回归分析结果显示, 存在 IVC($\chi^2=4.974, P=0.025$)、合并 TLF 损伤($\chi^2=5.231, P=0.023$)、椎旁肌脂肪变性 Goutallier 分级>2 级($\chi^2=15.124, P<0.001$)以及骨水泥弥散形态为团块型($\chi^2=4.168, P=0.038$)为 PVP 术后发生 RBP 的独立危险因素。模型 ROC 曲线得出原始模型 AUC 为 0.816 [$OR=2.862, 95\% CI (0.776, 0.894), P<0.001$], 通过 200 个自举样本进行模型内部验证, 得出 C 指数值为 0.936, 校准曲线显示预测概率曲线与实际概率曲线接近, H-L 拟合优度检验结果为 $\chi^2=5.796, P=0.670$, DCA 分析结果显示当阈值在 6%~71%时决策曲线位于 None 线与 All 线上方。结论: 存在 IVC、合并 TLF 损伤、椎旁肌脂肪变性 Goutallier 分级>2 级以及骨水泥弥散形态为团块型为 PVP 术后发生 RBP 的独立危险因素, 本研究所构建的 PVP 术后发生 RBP 的风险预测模型具有较好的预测性能和较好的临床实用性。

【关键词】 骨质疏松性椎体压缩骨折; 经皮椎体成形术; 残余背痛; 列线图

中图分类号: R683.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20230652

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A nomogram for predicting residual back pain after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures

LI Jun-ke, MA Xu-bin, LI Liang, MA Qing, WANG Xu-dong (Department of Trauma and Orthopaedics, Handan First Hospital, Handan 056000, Hebei, China)

ABSTRACT Objective To construct percutaneous vertebroplasty for predicting osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs) nomogram of residual back pain (RBP) after percutaneous vertebroplasty (PVP). **Methods** Clinical data of 245 OVCFs patients who were performed PVP from January 2020 to December 2022 were retrospectively analyzed, including 47

基金项目: 邯郸市科学技术研究与发展计划项目(编号: 21422083063); 2022 年度河北省医学科学研究课题计划(编号: 20220507)

Fund program: Handan City Science and Technology Research and Development Plan Project (No. 21422083063)

通讯作者: 李军科 E-mail: lilh1981@sina.com

Corresponding author: LI Jun-ke E-mail: lilh1981@sina.com

males and 198 females, aged from 65 to 77 years old with an average of (71.47±9.03) years old, and were divided into RBP group and non-RBP group according to whether RBP occurred. Gender, age, comorbidities, fracture stage, body mass index (BMI), bone mineral density (BMD), visual analogue scale (VAS), Oswestry disability index (ODI) and other general information were collected; anterior vertebral height (AVH), anterior vertebral height ratio (AVHR), anterior vertebral height ratio (AVHR), Cobb angle, intravertebral vacuum cleft (IVC), thoracolumbar fascia (TLF) injury, paravertebral muscle steatosis, injection volume and leakage of bone cement, bone cement dispersion pattern, anterior vertebral height recovery ratio (AVHRR), Cobb angle changes, etc. imaging parameters before operation and 24 h after operation were collected. Univariate analysis was performed to analysis above factors, and multivariate Logistic regression model was used to investigate independent risk factors for postoperative RBP, and Nomogram model was constructed and verified; receiver operating characteristic (ROC) curve and calibration curve were used to determine predictive performance and accuracy of the model, and Hosmer-Lemeshow (H-L) test was used for evaluation. The area under curve (AUC) of ROC was calculated, and Harrell consistency index (C index) was used to evaluate the predictive efficiency of model; decision curve analysis (DCA) was used to evaluate clinical practicability of model. **Results** There were 34 patients in RBP group and 211 patients in non-RBP group. There were no significant differences in gender, age, comorbidities, fracture stage, BMI, BMD, VAS, ODI, AVH, AVHR and Cobb angle between two groups ($P>0.05$). Univariate analysis showed 6 patients occurred IVC in RBP group and 13 patients in non-RBP, the number of IVC in RBP group was higher than that in non-RBP group ($\chi^2=5.400, P=0.020$); 6 patients occurred TLF injury in RBP group and 11 patients in non-RBP group, the number of TLF injury in RBP group was higher than that in non-RBP group ($\chi^2=7.011, P=0.008$); In RBP group, 18 patients with grade 3 to 4 paravertebral steatosis and 41 patients in non-RBP group, RBP group was higher than non-RBP group ($\chi^2=21.618, P<0.001$), and the proportion of bone cement mass in RBP group was higher than non-RBP group ($\chi^2=6.836, P=0.009$). Multivariate Logistic regression analysis showed IVC ($\chi^2=4.974, P=0.025$), TLF injury ($\chi^2=5.231, P=0.023$), Goutallier grade of paravertebral steatosis >2 ($\chi^2=15.124, P<0.001$) and proportion of bone cement ($\chi^2=4.168, P=0.038$) were independent risk factors for RBP after PVP. ROC curve of model showed AUC of original model was 0.816 [$OR=2.862, 95\%CI (0.776, 0.894), P<0.001$]. The internal verification of model through 200 bootstrap samples showed the value of C index was 0.936, and calibration curve showed predicted probability curve was close to actual probability curve. H-L goodness of fit test results were $\chi^2=5.796, P=0.670$. DCA analysis results showed the decision curve was above None line and All line when the threshold value ranged from 6% to 71%. **Conclusion** IVC, TLF combined injury, paravertebral muscle steatosis with Goutallier grade >2 , and bone cement diffusion with mass type are independent risk factors for RBP after PVP. The risk prediction model for RBP after PVP established has good predictive performance and good clinical practicability.

KEYWORDS Osteoporotic vertebral compression fractures; Percutaneous vertebroplasty; Residual back pain; Nomogram

骨质疏松症是老年人群中较为常见的一种全身性骨病,而骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCFs)在患有骨质疏松症人群中非常多见,多达 1/4 的 50 岁以上人群中一生中至少会发生 1 次椎骨骨折,1/3 的 OVCFs 患者会出现长期疼痛^[1]。目前,为缩短治疗周期、提高疗效并避免因长期卧床服药导致相关并发症的发生,临床将椎体强化术(vertebral augmentation, VA)作为 OVCFs 干预疼痛的优选方法之一。经皮椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)与经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)是目前临床使用最多的两种 VA 术式,作为脊柱微创术式之一, PVP 因兼具创伤小、止痛快、操作简单、安全有效、术后可早期恢复活动等优点,被公认为是治疗 OVCFs 的一种常用方法^[2]。据报道,5%~20% 的 OVCFs 患者经 PVP 治疗后会出现残余背痛(residual back pain, RBP),并且会对日常活动产生负面影响^[3]。当前关于 PVP 治疗 OVCFs 后出现 RBP 相关影响因素的报道较多,且以 RBP 潜在危险因素为

主,而关于 PVP 术后 RBP 发生风险的预测模型报道较少,同时在多种危险因素的多重共线性及模型拟合性能等方面也缺乏必要的认知。本研究在对 RBP 危险因素重新梳理的基础上,参考多因素 Logistic 回归模型,进一步完成 PVP 术后 RBP 的列线图(Nomogram)风险预测模型的构建,以期为预测 PVP 术后发生 RBP 的风险提供便利且可靠的工具。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)符合《骨质疏松性椎体压缩骨折诊疗与管理专家共识》^[4]中关于 OVCFs 的诊断标准。①临床查体椎体棘突及相应节段存在压痛和(或)叩击痛。②X 线片具有椎体压缩特征,患者的症状表现与影像显示的病变部位一致。③骨密度测定结果显示 T 值 ≤ -2.5 SD。④经 MRI 检查可观察到新鲜椎体骨折征象,同时经 CT 明确椎体后壁完整。(2)年龄 ≥ 55 岁。(3)未合并有脊髓及神经根损伤。(4)配合完成研究未失访。排除标准:(1)由非骨质疏松引发的其他病理性椎体骨折。(2)有凝血功能障碍

碍、合并全身性疾病、不能耐受手术者。(3)围术期合并全身性或局部感染者。(4)合并肋骨骨折者。(5)骨折时间>6 周接受手术者。(6)随访数据不完整者。

1.2 一般资料

回顾性分析 2020 年 1 月至 2022 年 12 月接受常规 PVP 术治疗的 328 例单节段 OVCFs 患者的临床资料,根据纳排标准共入选 245 例,男 47 例,女 198 例;年龄 65~77(71.47±9.03)岁。本研究将术后 RBP 定义为术后 1 个月内仍具有视觉模拟评分^[5](visual analog scale, VAS)≥4 分的背部疼痛,并据此将患者分为 RBP 组和无 RBP 组。

1.3 手术方法

所有患者术前完善常规检查,再行常规 PVP 术治疗。局部麻醉,取俯卧位,垫横枕使胸腰椎过伸。C 形臂 X 线机透视定位伤椎椎弓根体表投影并做标记。常规消毒铺巾,透视下经皮穿刺,穿刺深度为穿过椎弓根并到达椎体前 1/3。去除针芯,透视下将骨水泥注入伤椎,确认骨水泥沿骨小梁间隙浸润至骨皮质,且边缘呈毛刺状,待骨水泥硬化后拔除穿刺针,术毕。术后常规预防深静脉血栓,并给予非甾体抗炎药等进行镇痛,但不进行强效镇痛治疗。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 基线资料比较 包括两组性别、年龄、合并症情况、骨折发生节段、身体质量指数(body mass index, BMI)、骨密度(bone mineral density, BMD)、术前 VAS、术前 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)^[6],其中合并症包括糖尿病、高血压及骨折 3 方面。

1.4.2 影像学资料比较 术前影像学参数包括椎体前缘高度(anterior vertebral height, AVH)、椎体前缘高度比(anterior vertebral height ratio, AVHR)、Cobb 角、椎体内真空裂(intravertebral vacuum cleft, IVC)、胸腰筋膜(thoracolumbar fascia, TLF)损伤、椎旁肌脂肪变性。其中 AVHR 为压缩椎体前缘高度/(上椎体前缘高度+下椎体前缘高度)×2^[7],椎旁肌脂肪变性根据 GOUTALLIER 等^[8]制定的 Goutallier 分级分为 4 级:0 级,肌肉中无脂肪;1 级,肌肉中有少量脂肪;2 级,肌肉中有较明显的脂肪,但仍不超过肌肉体积;3 级,肌肉与脂肪等量;4 级,脂肪量超过肌肉。术后 24 h 影像学参数:骨水泥注射量,骨水泥渗漏,骨水泥弥散形态(海绵型或团块型),椎体前缘高度恢复比(anterior vertebral height recovery ratio, AVHRR)=术后 24 h AVHR-术前 AVHR, Cobb 角变化(术前 Cobb 角-术后 24 h Cobb 角)。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 27.0 软件和 R 语言 4.1.2 进行统计

学分析。对 PVP 术后发生 RBP 的潜在危险因素进行单因素分析,性别、合并症、骨折节段、IVC、TLF 损伤、椎旁肌脂肪变性、骨水泥渗漏、骨水泥弥散形态等定性资料以例表示,采用 χ^2 检验;VAS、年龄、BMI、BMD、ODI 评分、AVH、AVHR、Cobb 角等符合正态分布的定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用独立样本 *t* 检验。危险因素分析采用 Logistic 回归模型进行筛选,检验水准 $\alpha=0.05$ 。并在此基础上构建构建 Nomogram 模型,分别采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线和校准曲线进行模型的预测性能与准确性的判定,采用 Hosmer-Lemeshow(H-L)检验进行评估,计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC),使用 Harrell 一致性指数(C 指数)评价模型的预测效能,使用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评价模型的临床实用性。

2 结果

2.1 基线资料比较

RBP 组 34 例,无 RBP 组 211 例。RBP 组术后 24 h、3 d 及 1 个月 VAS 均高于无 RBP 组 ($P<0.001$),见表 1。两组性别、年龄、合并症、骨折节段、BMI、BMD、VAS 及 ODI 等比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 2。

表 1 RBP 组与无 RBP 组术后不同时间点 VAS 比较($\bar{x}\pm s$)
Tab.1 Comparison of VAS between RBP group and non-RBP group at different time points after operation ($\bar{x}\pm s$)
单位:分

组别	例数	术后 24 h	术后 3 d	术后 1 个月
RBP 组	34	5.17±0.73	4.58±0.57	4.26±0.52
无 RBP 组	211	3.62±0.55	2.59±0.38	2.16±0.41
<i>t</i> 值		14.518	26.201	26.637
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001

注:RBP 为残余背痛。下同

2.2 影像学资料比较

RBP 组与无 RBP 组术前 AVH、AVHR、Cobb 角比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$),RBP 组 IVC 与 TLF 损伤发生比例及椎旁肌脂肪变性 3-4 级比例均高于无 RBP 组 ($P<0.05$)。见表 3。

RBP 组与无 RBP 组术后骨水泥注射量、骨水泥渗漏、AVHRR 及 Cobb 角变化比较,差异无统计学意义 ($P>0.05$),RBP 组骨水泥弥散形态为团块型患者比例高于无 RBP 组 ($P<0.05$)。见表 4。

2.3 多因素 Logistic 回归分析结果

多因素 Logistic 回归分析结果显示,存在 IVC、合并 TLF 损伤、椎旁肌脂肪变性 Goutallier 分级>

2 级以及骨水泥弥散形态为团块型为 PVP 术后发生 RBP 的独立危险因素。见表 5。

2.4 PVP 术后发生 RBP 的列线图预测模型及验证
列线图结果显示：骨折节段发生 IVC 的评分为

表 2 RBP 组与无 RBP 组基线资料比较

Tab.2 Comparison of baseline data between RBP group and non-RBP group

组别	例数	性别/例		年龄($\bar{x}\pm s$)/岁	合并症/例			骨折节段/例		
		男	女		糖尿病	高血压	骨折	T ₄ -T ₁₀	T ₁₁ -L ₂	L ₃ -L ₅
RBP 组	34	6	28	72.35±8.38	31	18	29	2	17	15
无 RBP 组	211	41	170	70.69±7.52	187	109	179	16	104	91
检验值		$\chi^2=0.060$		$t=1.175$	$\chi^2=0.194$	$\chi^2=0.019$	$\chi^2=0.005$	$\chi^2=0.125$		
P 值		0.806		0.224	0.659	0.890	0.945	0.939		
组别	例数	BMI($\bar{x}\pm s$)/(kg·m ⁻²)		BMD($\bar{x}\pm s$)/SD		术前 VAS($\bar{x}\pm s$)/分		术前 ODI($\bar{x}\pm s$)/分		
RBP 组	34	23.74±4.12		-3.32±0.94		6.55±0.65		6.42±0.83		
无 RBP 组	211	23.36±3.87		-3.28±0.88		64.29±9.46		63.74±11.37		
检验值		$t=0.527$		$t=0.244$		$t=0.871$		$t=0.267$		
P 值		0.411		0.782		0.353		0.714		

表 3 RBP 组与无 RBP 组术前影像学资料比较

Tab.3 Comparison of preoperative imaging parameters between RBP group and non-RBP group

组别	例数	AVH ($\bar{x}\pm s$)/mm	AVHR ($\bar{x}\pm s$)/%	Cobb 角 ($\bar{x}\pm s$)/°	IVC/例		TLF 损伤/例		椎旁肌脂肪变性 Goutallier 分级/例		
					是	否	是	否	0-1 级	2 级	3-4 级
RBP 组	34	15.05±3.18	49.67±9.82	26.83±8.14	6	28	6	28	3	13	18
无 RBP 组	211	15.17±2.83	49.89±10.07	27.26±7.36	13	198	11	200	84	86	41
检验值		$t=0.226$	$t=0.119$	$t=0.311$	$\chi^2=5.400$		$\chi^2=7.011$		$\chi^2=21.618$		
P 值		0.794	0.903	0.618	0.020		0.008		<0.001		

注:AVH 为椎体前缘高度,AVHR 为椎体前缘高度比,IVC 为椎体内真空裂,TLF 损伤为胸腰筋膜损伤。下同

表 4 RBP 组与无 RBP 组术后影像学参数比较

Tab.4 Comparison of postoperative imaging parameters between RBP group and non-RBP group

组别	例数	骨水泥注射量 ($\bar{x}\pm s$)/ml	骨水泥渗漏/例		骨水泥弥散形态/例		AVHRR ($\bar{x}\pm s$)/%	Cobb 角变化 ($\bar{x}\pm s$)/°
			是	否	海绵型	团块型		
RBP 组	34	3.88±1.04	7	27	15	19	7.63±2.27	5.84±3.32
无 RBP 组	211	4.07±1.12	36	175	142	69	8.02±2.51	6.03±4.28
检验值		$t=0.927$	$\chi^2=0.252$		$\chi^2=6.836$		$t=0.851$	$t=0.247$
P 值		0.285	0.616		0.009		0.366	0.783

注:AVHRR 为椎体前缘高度恢复比

表 5 PVP 术后发生 RBP 相关影响因素的多因素 Logistic 回归分析

Tab.5 Multivariate Logistic regression analysis of factors related to occurrence of RBP after PVP

影响因素	B 值	SE 值	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	95%CI
IVC(是)	1.333	0.597	4.974	0.025	3.789	1.176, 12.233
TLF 损伤(是)	1.338	0.601	5.231	0.023	3.968	1.216, 12.894
椎旁肌脂肪变性			16.137	<0.001		
Goutallier 2 级	1.758	0.683	6.672	0.012	5.802	1.531, 22.036
Goutallier 3-4 级	2.618	0.673	15.124	<0.001	13.772	3.669, 50.341
骨水泥弥散形态(团块型)	-0.794	0.393	4.168	0.038	2.237	1.028, 4.802

50.8 分,合并 TLF 损伤的评分为 51.9 分,椎旁肌脂肪变性 Goutallier 2 级的评分为 66.3 分,椎旁肌脂肪变性 Goutallier 3-4 级的评分为 100 分,骨水泥弥散形态为团块型的评分为 30.2 分,见图 1。通过绘制 ROC 曲线显示原始模型 AUC 为 0.816 [OR=2.862, 95%CI(0.776,0.894), $P<0.001$],灵敏度及特异度分别为 83.33%和 69.67%,见图 2。通过 200 个自举样本进行模型内部验证^[9],得出 C 指数值为 0.936,预测概率曲线与实际概率曲线接近,H-L 拟合优度检验结果显示,该列线图模型预测概率与实际概率差异无统计学意义($\chi^2=5.796,P=0.670$),见图 3。DCA 曲线及结果显示当阈值在 6%~71%时决策曲线处于 None 线和 All 线上方,见图 4。

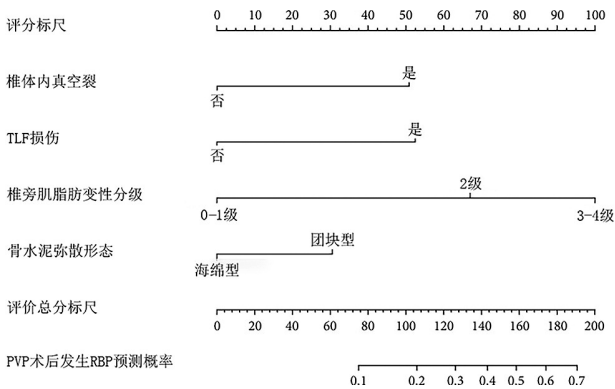


图 1 PVP 术后发生 RBP 的列线图预测模型
Fig.1 Nomogram prediction model for RBP after PVP surgery

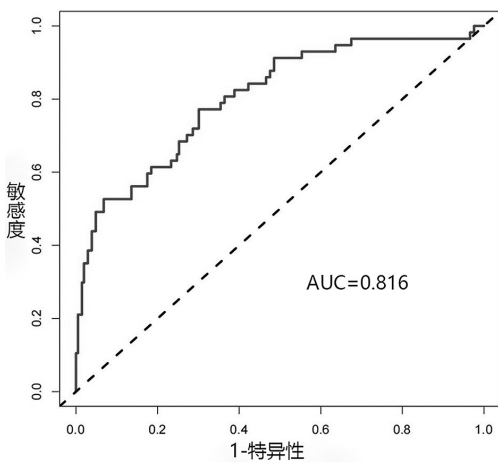


图 2 PVP 术后发生 RBP 的列线图预测模型的 ROC 曲线
Fig.2 ROC curve of Nomogram prediction model for RBP after PVP surgery

3 讨论

3.1 RBP 的必要性

PVP 治疗 OVCFs 在镇痛、维持病变部位椎体稳定及减少患者卧床时间等方面具有不错的表现^[10]。

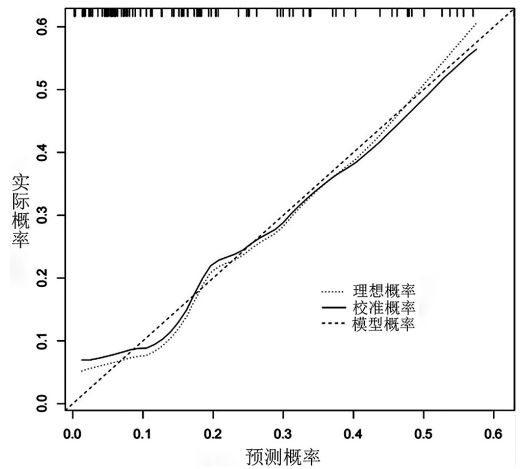


图 3 PVP 术后发生 RBP 的列线图预测模型的校准曲线
Fig.3 Calibration curve of Nomogram prediction model for RBP after PVP

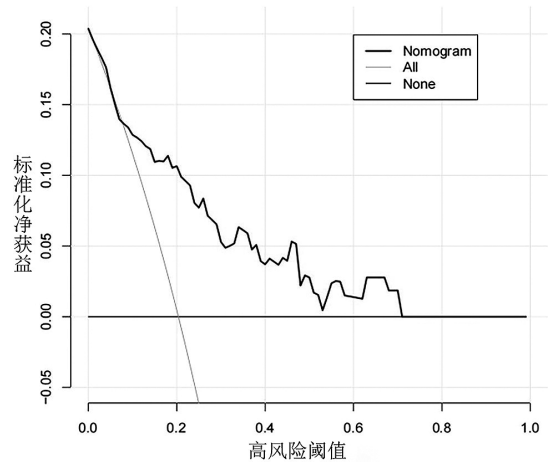


图 4 PVP 术后发生 RBP 的列线图预测模型的 DCA 曲线
Fig.4 DCA curve of Nomogram prediction model for RBP after PVP

然而,该术式仍不能完全避免某些并发症,RBP 即为其中之一。RBP 在很大程度上降低了患者对手术的满意度,并影响了患者的日常生活质量。文献^[11]表明,胸腰椎 OVCFs 患者经 PVP 治疗后的 RBP 发生率为 1.8%~15.6%。DOHM 等^[12]研究显示,RBP 是 OVCF 患者经 PVP 治疗术后 30 d 最常见的不良事件之一。故本研究将纳入考察的最长随访时间定为术后 30 d,一定程度减少因随访时间延长而导致 RBP 相关危险因素的变化。

3.2 BMD 与骨水泥注射量对 RBP 发生的影响

研究表明,低骨密度^[11-13]、骨水泥体积与弥散形态^[14]、合并 TLF 损伤^[1]及 IVC^[15]等可能与 PVP 后发生 RBP 有关。本研究术前 BMD 与骨水泥注射量并未在危险因素之列。低水平的 BMD 通常表明椎体硬度偏低且脆性增加,OVCFs 的风险更高,椎体多节段塌陷可导致脊柱矢状面失衡,为保持矢状位趋于相

对平衡状态, 身体代偿机制可以增加骨盆后倾角和胸椎后凸角, 但同时也增加的腰背部肌肉损伤, 继而导致慢性腰背痛。故低骨密度是 PVP 后发生 RBP 的重要危险因素。然而, 本研究两组术前 BMD 虽然均低于 -2.5 SD, 但差异无统计学意义。分析原因可能与既定的术后 1 个月研究期有关, 据观察术后 1 个月内患者骨折椎骨塌陷不显著, 不会表现出明显的矢状面失衡。因此, 术前低 BMD 值可能是 PVP 后长期性 RBP 的危险因素, 而不是短期(术后 1 个月)。注射骨水泥可增强椎体强度和刚度, 有效防止进行性椎体塌陷, 同时也能基于热传导效应将骨折部位周边的神经感受器进行破坏, 以发挥缓解背痛的作用^[1]。但研究表明, 骨水泥注射量与疼痛缓解程度无显著相关性^[16], 其原因可能为绝大多数患者通常只需要较少的骨水泥注射量(15%的椎体体积分数)即可骨折椎骨强度恢复到伤前水平^[17]。而当骨水泥注射量超过 24% 体积分数时(平均 7 ml), 几乎不能获得明显益处, 反而会增加骨水泥渗漏风险^[18]。

3.3 IVC 对 RBP 发生的影响

IVC 在 OVCFs 患者中发生率为 10%~48%, 是严重椎体塌陷、进行性脊柱后凸、顽固性背痛甚至神经功能缺损的重要危险因素^[19]。在 IVC 存在的情况下, 骨水泥通常难以在裂隙内理想弥散, 故对可能存在的椎体微骨折的固定效果降低, 这导致术后或有椎体残腔或假关节形成, 这不仅对椎体的持续稳定不利, 同时也会促使 RBP 的发生概率增高。

3.4 TLF 损伤对 RBP 发生的影响

胸腰 TLF 损伤可增强神经的反应性, 且在其存在的情况下无法有效缓冲微动椎体所导致的痛觉。研究^[20]提示, 腰背部软组织损伤在 RBP 组的发生率显著高于无 RBP 组, 并认为这是术后 RBP 的危险因素。另外, 无后筋膜水肿患者其术后 VAS 与 ODI 评分较有后筋膜水肿者显著更低, 表明 PVP 后发生 RBP 也可能与合并 TLF 损伤有关^[21]。一般而言, 骨折所导致的疼痛程度要大于软组织损伤, 而骨折在发病早期更易受到患者和医生的关注, 在骨折获得有效治疗后, 软组织损伤导致的疼痛得以凸显, 这也可能是合并 TLF 损伤患者术后发生 RBP 的重要原因。

3.5 骨水泥弥散形态对 RBP 发生的影响

本研究骨水泥弥散形态为团块型是 PVP 后 RBP 的独立风险预测因素, 其原因可能为海绵型的骨水泥弥散形态可实现骨水泥与松质骨的紧密结合, 有效降低术后损伤椎骨再塌陷的风险。同时在骨水泥更均匀分布的情况下, 当其漫过中线弥散至对侧椎弓根时, 能与椎体内碎裂骨小梁产生更牢固的结合, 界面固定作用相对更理想并能有效减弱乃至

消除碎裂骨小梁的微动, 故能达到满意的镇痛效果。

3.6 椎旁肌脂肪变性对 RBP 发生的影响

椎旁肌主要作用为支撑与控制脊柱的运动。成骨细胞与破骨细胞的动态平衡是骨骼系统更替的基础, 对骨质疏松症患者而言, 脂肪在骨与肌肉组织中具有更明显的聚集倾向, 而过度增加的脂肪细胞可对成骨细胞的活动造成抑制, 骨组织灌注相应减弱, 最终导致骨质遭受到破骨细胞更强的破坏作用。此外, 脂肪释放的某些炎性因子, 如白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6)和肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)等, 也会产生一定的脂肪毒性, 并导致骨质减少及骨骼肌质量下降^[22]。故椎旁肌脂肪变性程度越高, PVP 术后发生 RBP 的概率越大。

3.7 Nomogram 模型的临床实用性

多因素 Logistic 回归方程是临床评估预后相关影响因素的常用方法, 但其操作相对复杂且缺乏直观性。本研究通过构建 Nomogram 模型将 PVP 术后发生 RBP 的预测进行可视化, 继而将复杂的 Logistic 回归风险预测模型转化为可视化的列线图, 在该图中可通过累计每个独立危险因素在其标尺上的得分而直接读出预测 PVP 术后发生 RBP 的概率, 其在临床中的应用更加便捷。预测模型区分度的 ROC 曲线分析结果显示本模型具有良好区分度; 通过自举样本进行模型内部验证提示模型未过拟合; 校准曲线表明模型具有较好的校准度; DCA 曲线及结果显示当阈值在 6%~71% 时决策曲线位于 None 线与 All 线上方, 表明模型具有较好的临床实用性。

3.8 本研究总结与不足

本研究结果表明存在 IVC、合并 TLF 损伤、椎旁肌脂肪变性 Goutallier 分级 >2 级以及骨水泥弥散形态为团块型为 PVP 术后发生 RBP 的独立危险因素。本研究所构建的 Nomogram 模型对 PVP 术后发生 RBP 具有良好预测性能及较高的临床实用性。然而尚存在一定的局限性: (1) 本研究为小样本的单中心回顾性研究, 可能导致结果存在一定程度偏倚。(2) 仅纳入了单节段 OVCFs 患者, 但多节段 OVCFs 患者临床并不少见, 因此有必要将研究进一步向此部分患者拓展, 促使模型更具普适性。(3) 当前仅完成了模型内部验证, 外部验证拟后续开展。

参考文献

- [1] LUO Y, JIANG T Y, GUO H, et al. Osteoporotic vertebral compression fracture accompanied with thoracolumbar fascial injury: risk factors and the association with residual pain after percutaneous vertebroplasty[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 343.
 - [2] 陈星, 万冠, 熊小明, 等. 加速康复外科理念在老年骨质疏松性腰椎压缩性骨折椎体成形术和后凸成形术后康复中的应用[J]. 中国骨伤, 2020, 33(12): 1179-1183.
- CHEN X, WAN D, XIONG X M, et al. Application of enhanced re-

- covery after surgery in postoperative rehabilitation of osteoporotic lumbar compression fractures with percutaneous vertebroplasty or percutaneous kyphoplasty[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2020, 33(12): 1179-1183. Chinese.
- [3] LI Y, YUE J X, HUANG M Y, et al. Risk factors for postoperative residual back pain after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Eur Spine J*, 2020, 29(10): 2568-2575.
- [4] 丁悦, 张嘉, 岳华, 等. 骨质疏松性椎体压缩性骨折诊疗与管理专家共识[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2018, 11(5): 425-437.
DING Y, ZHANG J, YUE H, et al. Expert consensus on diagnosis, treatment and management of osteoporotic vertebral compression fracture[J]. *Chin J Osteoporosis Bone Miner Res*, 2018, 11(5): 425-437. Chinese.
- [5] 刘晨, 胡铨哲, 尹逊, 等. 骨质疏松性胸腰椎压缩骨折经皮椎体强化治疗后残余痛的危险因素[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 26(18): 2900-2905.
LIU C, HU C Z, YIN X, et al. Risk factors of residual pain after percutaneous vertebral augmentation for osteoporotic thoracolumbar compression fractures[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(18): 2900-2905. Chinese.
- [6] 田焯, 袁秋文, 胡梁深. 骨质疏松椎体压缩性骨折患者术后再骨折的风险列线图构建与验证[J]. *实用医学杂志*, 2023, 39(18): 2294-2299.
TIAN Y, YUAN Q W, HU L S. Construction and validation of risk warning model of postoperative re-fracture in patients with osteoporosis vertebral compressibility fracture[J]. *J Pract Med*, 2023, 39(18): 2294-2299. Chinese.
- [7] 张斌, 邹华, 孔维军, 等. Mini-open 后路显微镜下椎管减压治疗伴重度椎管狭窄的胸腰椎爆裂性骨折[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2018, 32(4): 468-475.
ZHANG B, ZOU H, KONG W J, et al. Decompression by mini-open posterior approach assisted with microscope for thoracolumbar burst fracture with severe spinal canal stenosis[J]. *Chin J Reparative Reconstr Surg*, 2018, 32(4): 468-475. Chinese.
- [8] GOUTALLIER D, POSTEL J M, BERNAGEAU J, et al. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994, (304): 78-83.
- [9] 林渺满, 文雪梅, 黄宗伟, 等. 骨质疏松性椎体压缩骨折椎体强化术后残余腰痛风险预测模型的构建与验证[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2022, 32(8): 720-728.
LIN M M, WEN X M, HUANG Z W, et al. Development and validation of a prediction model for the risk of residual low back pain after vertebral augmentation for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Chin J Spine Spinal Cord*, 2022, 32(8): 720-728. Chinese.
- [10] PUMBERGER M, SCHITZ F, BÜRGER J, et al. Kyphoplasty restores the global sagittal balance of the spine independently from pain reduction[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 8894.
- [11] 梁冬波, 李剑峰, 王力平. 经皮穿刺椎体成形术后残余腰痛的相关因素分析[J]. *微创医学*, 2017, 12(4): 479-482.
LIANG D B, LI J F, WANG L P. Factor related to residual back pain after percutaneous vertebroplasty[J]. *J Minim Invasive Med*, 2017, 12(4): 479-482. Chinese.
- [12] DOHM M, BLACK C M, DACRE A, et al. A randomized trial comparing balloon kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fractures due to osteoporosis[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(12): 2227-2236.
- [13] 沈煜, 冯明利, 徐军, 等. 老年骨质疏松性椎体压缩性骨折部位和腰椎骨密度对下腰部疼痛的影响[J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(23): 1818-1820.
SHEN Y, FENG M L, XU J, et al. Research of the effect of bone mineral density and fracture site of the vertebrae on low back pain in elderly patients with osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Natl Med J China*, 2016, 96(23): 1818-1820. Chinese.
- [14] WANG M, LI B, WANG Y R, et al. The effects of bone cement volume in percutaneous vertebroplasty for thoracolumbar junction vertebral compression fractures: a clinical comparative study[J]. *Mediators Inflamm*, 2022, 2022: 4230065.
- [15] LANE J I, MAUS T P, WALD J T, et al. Intravertebral clefts opacified during vertebroplasty: pathogenesis, technical implications, and prognostic significance[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2002, 23(10): 1642-1646.
- [16] 陈瑞, 杨棋, 郭振鹏, 等. 多因素变量分析经皮椎体成形术后患者疗效不佳的影响因素[J]. *中国医学工程*, 2023, 31(2): 22-29.
CHEN R, YANG Q, GUO Z P, et al. Multivariate analysis of influencing factors of poor curative effect in patients after percutaneous vertebroplasty[J]. *China Med Eng*, 2023, 31(2): 22-29. Chinese.
- [17] 刘展亮, 张惠城, 陈嘉裕, 等. 经皮椎体成形术中骨水泥注射量与疗效的关系[J]. *广东医学*, 2010, 31(4): 444-446.
LIU Z L, ZHANG H C, CHEN J Y, et al. Relationship between the amount of bone cement injected and the curative effect in percutaneous vertebroplasty[J]. *Guangdong Med J*, 2010, 31(4): 444-446. Chinese.
- [18] NIEUWENHUIJSE M J, BOLLEN L, VAN ERKEL A R, et al. Optimal intravertebral cement volume in percutaneous vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Spine*, 2012, 37(20): 1747-1755.
- [19] YU W B, LIANG D, YAO Z S, 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.
- [20] 陈激光. 胸腰椎压缩性骨折患者 PKP 术后残余痛的危险因素分析[D]. 中国人民解放军海军军医大学, 2021.
CHEN J G. Risk factors of residual pain in patients with thoracolumbar compression fracture after PKP[D]. PLA Navy Medical University, 2021. Chinese.
- [21] LI Q J, SHI L, WANG Y B, et al. A nomogram for predicting the residual back pain after percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fractures[J]. *Pain Res Manag*, 2021, 2021: 3624614.
- [22] 孔祥臻, 王增, 于兴明, 等. 椎旁肌肉脂肪变性性与骨质疏松性状态相关性[J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29(16): 1471-1475.
KONG X Z, WANG Z, YU X M, et al. Correlation between paravertebral muscle fatty degeneration and lumbar osteoporotic state[J]. *Orthop J China*, 2021, 29(16): 1471-1475. Chinese.