

3D打印数字技术辅助PVP治疗胸腰椎多节段骨质疏松性椎体压缩性骨折的临床研究

金浪¹ 石洁² 黄正¹ 贾永伟¹ 张建坡¹ 魏礼成¹ 金昊雷³

【摘要】 目的 探讨3D打印数字技术辅助经皮穿刺椎体成形术(PVP)治疗胸腰椎多节段骨质疏松性椎体压缩性骨折(OVCF)的临床研究。方法 选取2017年2月至2020年3月于我院骨科进行治疗的114例OVCF患者纳入研究,其中观察组56例行3D打印技术+PVP术式治疗,对照组58例行PVP治疗。比较两组患者的性别、年龄、病程、骨密度、骨折部位、骨折类型、骨水泥注射量、椎体压缩程度、终板/后壁是否完整。记录不同骨折类型患者的穿刺定位时间和透视次数。分别于术前、术后1d和术后12个月测定患者的疼痛评分、功能评分和影像学指标。统计随访期间发生骨水泥渗漏、神经损伤等并发症发生情况。根据骨水泥渗漏情况,将所有患者分为渗漏组和未渗漏组,并比较两组患者的一般临床资料,将治疗术式纳入和剔除分别建立影响患者骨水泥渗漏的多因素Logistic回归模型,并利用受试者工作特征曲线(ROC)评价模型区分度,利用Bootstrap重复取样的方法进行内部验证。结果 与术前比较,术后12个月,两种不同术式患者的椎体平均高度均明显升高,Cobb角、Oswestry功能障碍指数(ODI)、椎体压缩比、视觉模拟评分(VAS)均明显降低;差异有统计学意义($P<0.05$)。术后12个月,两组患者均未出现神经功能损伤及卧床相关并发症;术后观察组发生骨水泥渗漏概率明显低于对照组($\chi^2=13.259$, $P<0.001$)。椎体压缩程度、骨水泥注射量、治疗术式、终板/后壁完整是术后发生骨水泥渗漏的影响因素($P<0.05$)。纳入治疗术式的模型具有更高的预测价值。结论 3D打印技术联合PVP术有效改善OVCF患者术中透视次数和穿刺时间,改善术后ODI和VAS评分,降低骨水泥渗漏率。

【关键词】 3D打印技术; PVP; OVCF; 疗效; 骨水泥渗漏

Clinical study of 3D printing digital technique assisted with PVP in the treatment of multi-segmental osteoporotic vertebral compression fractures of thoracolumbar vertebrae Jin Lang¹, Shi Jie², Huang Zheng¹, Jia Yongwei¹, Zhang Jianpo¹, Wei Licheng¹, Jin Haolei³. ¹Department of Spine Surgery, ²Department of Radiology, Guanghua Hospital Affiliated to Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Arthritis Institute of integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai Academy of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 200052, China; ³General Department of Western Medicine, Jiangwan Town Street Community Health Service Center of Shanghai Hongkou District, Shanghai 200052, China
Corresponding author: Huang Zheng, Email:13501772762@126.com

【Abstract】 **Objective** To explore the clinical study of 3D printing digital technique assisted with PVP in the treatment of multi-segmental osteoporotic vertebral compression fractures of thoracolumbar vertebrae. **Methods** A total of 114 patients with OVCF who were treated in the department of orthopaedics in our hospital from February 2017 to March 2020 were enrolled in the study. Patients of the observation group ($n=56$) were treated with 3D printing technique and PVP operation, and patients in the control group ($n=58$) were treated with PVP. The sex, age, course of disease, bone mineral density, bone cement injection volume, fracture site, fracture type, vertebral compression degree and integrity of endplate/posterior wall were compared between the two groups. The puncture location time and fluoroscopy times of patients with different fracture types were recorded. The pain score, function score and imaging index were measured before oper-

DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2026.02.001

基金项目: 上海市长宁区科学技术委员会项目(NKW2018Y13)

作者单位: 200052 上海中医药大学附属光华医院 上海市中医药研究院中西医结合关节炎研究所脊柱外科¹, 放射科²; 200052 上海市虹口区江湾镇街道社区卫生服务中心 西医全科³

通信作者: 黄正, Email: 13501772762@126.com

ation, 1 day and 12 months after operation. The complications such as bone cement leakage and nerve injury were counted during the follow-up period. According to the situation of bone cement leakage, all patients were divided into non-leakage group and leakage group, and the general clinical data of the two groups were compared. the multi-factor Logistic regression models affecting bone cement leakage were established respectively, and the model differentiation was evaluated by ROC, and the internal verification was carried out by the method of Bootstrap repeated sampling. **Results** Compared with those of the control group, the average vertebral body height of the two groups increased significantly at 1 day and 12 months after operation, while the vertebral compression ratio, VAS score, Cobb angle and ODI score decreased significantly, and the VAS score and ODI at 12 months after operation were significantly lower than those at 1 day after operation ($P<0.05$). 12 months after operation, there was no neurological injury and bedridden-related complications in both groups; bone cement leakage occurred in 5 patients (9.00%) of the observation group and 22 patients (37.93%) of the control group. There was significant difference in bone cement leakage between the two groups ($\chi^2=13.259, P<0.001$). The amount of bone cement injected, the degree of vertebral compression, the integrity of endplate/posterior wall and the mode of treatment were the influencing factors of bone cement leakage ($P<0.05$). The model incorporated into the therapeutic technique has higher predictive value. **Conclusions** 3D printing technique combined with PVP can reduce the intraoperative puncture time and fluoroscopy times of OVCF, especially flat and double concave fractures, improve the postoperative VAS and ODI.

【Key words】 3D printing technology; PVP; OVCF; Effect; Bone cement leakage

目前统计显示,骨质疏松症是世界发病率第7位的疾病,属于老年人群的常见病^[1]。我国骨质疏松症患者数量越来越多,发病率约为7.1%^[2]。骨质疏松症患者极易发生骨质疏松性椎体压缩性骨折(osteoporotic vertebral compression fracture, OVCF)。OVCF主要临床表现为身长短缩,顽固性腰背部疼痛,驼背等^[3]。以往治疗OVCF主要通过药物止痛、手法复位、长期卧床制动等保守治疗。然而保守治疗极易发生坠积性肺炎、压疮等,从而延长治疗时间、增加治疗费用等。目前,临床治疗OVCF多采用经皮椎体后凸成形术(percutaneous kyphoplasty, PKP)和经皮穿刺椎体成形术(percutaneous vertebroplasty, PVP)等微创手术^[4]。临床实践发现^[5],单纯行PVP,可减轻OVCF患者疼痛。然而,有研究发现^[6],单纯行PVP极易发生术后腰背部残余疼痛、术中骨水泥外漏、神经和脊髓损伤等。3D打印技术是新型技术,已应用于多个学科^[7-9],然而3D打印在PVP治疗OVCF的相关研究较少。

本研究选取2017年2月至2020年3月于我院骨科进行治疗的114例OVCF患者,探讨3D打印技术联合PVP术式治疗OVCF的疗效及预后影响因素分析,以期为临床研究提供理论依据。

材料与方法

一、临床资料

选取2017年2月至2020年3月于我院骨科进行

治疗的114例OVCF患者纳入研究,其中观察组56例行3D打印技术+PVP术式治疗,对照组58例行PVP治疗。纳入标准:(1) $T_3\sim L_2$ OVCF,骨折节段2~4个;(2)X线片提示骨质疏松或骨量减少;(3)临床资料完整;(4)新鲜椎体骨折。排除标准:(1)病理性骨折患者;(2)长期服用激素患者;(3)凝血功能障碍患者。本研究已经获得本院伦理委员会批准及全部患者的知情同意(KS2738)。

二、研究方法及随访

观察组:(1)术前3D打印。利用3D打印技术制作1:1病椎三维模型。在三维模型上演练CT数据。(2)PVP术。患者取俯卧位,以伤椎为中心调节手术床,并进行复位,标记进针点;进行局部麻醉,从标记点进针。透视下向椎体注入骨水泥并观察弥散情况。骨水泥凝固后,退出穿刺针。对照组:术不进行3D打印病椎,确定穿刺点及进针方向,其余同观察组行PVP术。

受试对象于术后6 h翻身;术后12 h、48 h分别锻炼腰背肌、下地活动。术后24 h复查CT及X线片,查看骨水泥情况。术后第1年1、3、6、12个月时复查,1年后每年定期复查。

三、观察指标及判定标准

观察指标:记录患者的性别、骨密度、骨折类型、病程、椎体压缩程度、骨折部位、骨水泥注射量、年龄、终板/后壁是否完整。记录患者的穿刺透视次数和定位时间。分别于术前、术后1 d和术后12个月测定患者的疼痛评分、功能评分和影像学指标。统

计随访期间发生骨水泥渗漏等并发症。

判定标准:骨水泥渗漏标准^[9]:使用三维重建技术和GE Light Speed CT观察患者骨水泥情况,其中骨水泥渗漏至上下终板或椎体骨皮质位置定义为骨水泥渗漏。椎体压缩程度^[10]:根据椎体前缘高度占后缘高度情况分为重度(压缩达2/3或以上)、中度(压缩达1/2)和轻度(压缩达1/3)。疼痛评分:使用视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)^[11]进行评价,0分表示无痛,10分为剧痛。功能评分:使用Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评分^[12]评价患者术后疼痛及生活质量改善程度,ODI评分根据10个日常活动障碍程度进行评分,换算成积分计算得到,0%为正常,100%为严重功能障碍。影像学测定指标:在脊柱侧位X线片上参考文献^[13]测定椎体平均高度、椎体压缩比、Cobb角。

四、统计学方法

使用SPSS 21.0(IBM,美国)进行数据分析,计数资料使用频数表示,行 χ^2 检验,计量资料使用 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 t 检验,多时间点比较使用重复测量方差分析,两两比较采用LSD- t 检验。将治疗术式纳入和剔除分别建立影响患者骨水泥渗漏的多因素Logistic回归模型,并利用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)评价模型区分度,利用Bootstrap重复取样的方法进行内部验证。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

一、3D打印+PVP术式治疗OVCF典型病例分析
使用3D打印+PVP术式治疗的OVCF典型病例,女性,80岁,胸11骨折。手术顺利,骨水泥填充满意、没有渗漏,见图1~13。

二、两组患者一般临床资料比较

两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,见表1。

三、两组患者穿刺定位时间和透视次数比较

比较两组患者不同骨折类型的穿刺定位时间和透视次数,结果发现,两组楔形骨折患者的穿刺定位时间和透视次数差异无统计学意义($P > 0.05$);观察组的双凹型骨折和扁平型骨折患者的穿刺定位时间和透视次数均比对照组少,差异有统计学意义($P < 0.001$)。见表2。

四、两组患者影像学结果及临床疗效比较

比较两组患者不同时间点的骨折椎体影像学指

标、VAS评分和ODI评分,结果发现,与术前比较,术后1 d和术后12个月,两组患者的椎体平均高度均明显升高($P < 0.05$),椎体压缩比、Cobb角、VAS评分、ODI评分均明显下降($P < 0.05$);组内术后1 d和术后12个月比较,椎体平均高度、椎体压缩比和Cobb角差异无统计学意义($P > 0.05$),而术后12个月时患者的VAS评分和ODI评分均明显低于术后1 d($P < 0.05$)。见表3。

五、两组患者术后不良反应比较

术后12个月,两组患者均未出现神经功能损伤及卧床相关并发症;术后观察组骨水泥渗漏发生5例(9.00%),对照组22例(37.93%),两组患者骨水泥渗漏差异有统计学意义($\chi^2 = 13.259, P < 0.001$)。见图14。

六、影响术后骨水泥渗漏的单因素分析

基于114例患者骨水泥渗漏情况分为未渗漏组和渗漏组,比较两组临床资料,结果发现,两组患者的骨水泥注射量、椎体压缩程度、终板/后壁完整、治疗术式差异均有统计学意义($P < 0.05$)。见表4。

七、影响术后骨水泥渗漏的多因素Logistic回归分析

将以上表4比较 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素Logistic回归分析,以骨水泥注射量、终板/后壁完整、椎体压缩程度、治疗方式为自变量,以骨水泥渗漏为因变量(渗漏=1,未渗漏=0),行多因素Logistic回归分析,结果发现骨水泥注射量、终板/后壁完整、椎体压缩程度、治疗术式是患者骨水泥渗漏的影响因素($P < 0.05$),将治疗术式纳入或未纳入分别构建影响术后骨水泥渗漏的多因素Logistic回归分析模型1(见图15)和模型2(见图16)。赋值变量见表5。

八、ROC预测模型评价

通过ROC对上述模型进行评价,模型1曲线下面积(AUC)为0.857(95% CI:0.818,0.926),预测灵敏度为83.9%,特异度为87.5%。模型2AUC为0.760(95% CI:0.702,0.841),预测灵敏度、特异度分别为72.9%、75.3%,提示模型1具有更高预测价值,见图17。

九、两个模型的内部验证校准图

模型1(见图18)和模型2(见图19)的内部数据验证表明,校准图中标准曲线与预测曲线吻合较好,说明预测的骨水泥渗漏与实际检测结果吻合较好。

讨 论

3D打印技术是一种利用3D计算机模块制造实

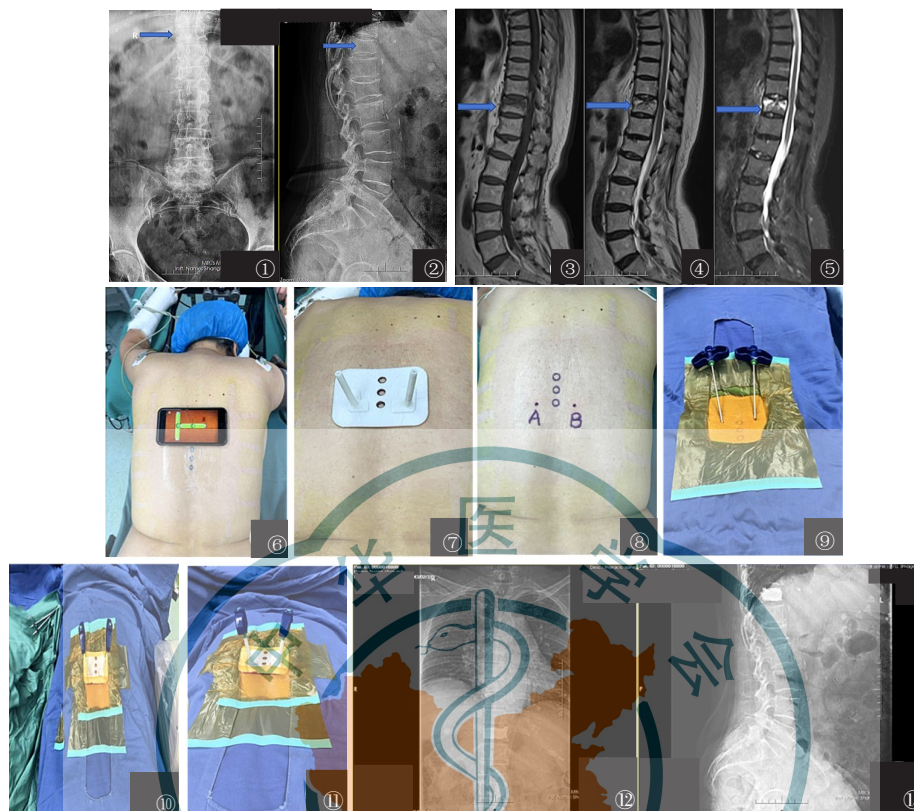


图1~2 OVCF患者术前X线片。箭头所指为压缩骨折的第11胸椎。图1 X线正位图；图2 侧面图 图3~5 OVCF患者术前MRI图像。箭头所指为压缩骨折的第11胸椎。图3 TIWI视图；图4 T2WI视图；图5 FS(抑脂像)视图 图6~11 3D打印模型拟手术穿刺示意图。图6 使用梯度仪确保患者在CT检查时处于同一位位；图7 将导向模板与皮肤匹配，确定穿刺点；图8 最后穿刺点；图9 使用穿刺针对穿刺点进行双重检查；图10 固定另一个已灭菌的模板，插入针头；图11将针轻敲到轨迹的末端 图12~13 术后骨水泥在椎体内的分布情况。图12 X线正位图；图13 X线侧位图

物模型的成型技术,其三维模型有助于医生进行术前诊断及评估手术风险^[14]。近年3D打印技术已被广泛应用于植入物放置、骨折复位等方面^[15-16]。本研究使用3D打印联合PVP治疗OVCF扁平型骨折和双凹型骨折患者的穿刺定位时间和透视次数均明显少于仅使用PVP术式的同类型骨折患者,而楔形骨折患者中两种术式的穿刺定位时间和透视次数的差异无统计学意义。与赵晖等^[17]的报道相似。分析原因可能是与扁平型骨折和双凹型骨折相比,楔形骨折类型的椎体柱变形相对较轻,穿刺更为容易。因

此,采用3D打印联合PVP治疗双凹型骨折和扁平型骨折,可缩短穿刺定位时间,减少手术透视次数。

本研究显示,与术前相比,术后1d和术后12个月,两组患者椎体平均高度、椎体压缩比、Cobb角、VAS评分和ODI评分指标均有所改善。提示两种术式均可有效改善OVCF患者的功能评分、疼痛及影像学指标,与以往报道相符^[18]。而术后1d和术后12个月比较,两组的功能评分和疼痛均进一步改善,而Cobb角、椎体平均高度和椎体压缩比改善不明显,提示两组患者术后的椎体平均高度、椎体压缩

表1 两组OVCF患者一般临床资料比较

组别	例数	性别[例(%)]		年龄(岁)	病程(年)	骨密度(g/cm ²)	骨折部位[例(%)]			骨折类型[例(%)]		
		男	女				腰椎	胸腰段	多节段	楔形	扁平型	双凹型
观察组	56	22(39.3)	34(60.7)	74.5±7.1	10.3±2.9	0.58±0.10	30(53.6)	16(28.6)	10(17.8)	13(23.2)	22(39.3)	21(37.5)
对照组	58	26(44.8)	32(55.2)	75.5±7.8	10.9±3.2	0.61±0.14	34(58.6)	15(25.9)	9(15.5)	15(25.9)	26(44.8)	17(29.3)
χ^2 值		0.359		0.694	1.138	1.312	0.300			0.862		
P值		0.549		0.489	0.258	0.192	0.861			0.650		

表2 两组OVCF患者穿刺定位时间和透视次数比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	楔形骨折		扁平型骨折		双凹型骨折				
		例数	穿刺定位时间(min)	透视次数(次)	例数	穿刺定位时间(min)	透视次数(次)	例数	穿刺定位时间(min)	透视次数(次)
观察组	56	13	6.18±1.36	7.33±1.14	22	7.20±2.88	9.50±2.02	21	8.45±2.57	8.39±1.53
对照组	58	15	7.12±1.55	7.46±1.49	26	16.53±4.98	15.37±2.11	17	16.97±4.23	13.85±2.45
χ^2 值			1.693	0.256		7.751	9.792		7.660	8.401
P值			0.102	0.800		<0.001	<0.001		<0.001	<0.001

表3 两组OVCF患者影像学结果及临床疗效比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	椎体平均高度			椎体压缩比(%)			Cobb角(°)		
		术前	术后1 d	术后12个月	术前	术后1 d	术后12个月	术前	术后1 d	术后12个月
观察组	56	12.74±1.75	20.25±1.87*	20.98±1.81*	75.17±5.15	58.50±7.85*	58.11±7.93*	28.25±5.81	10.87±2.75*	11.57±3.61*
对照组	58	12.95±1.63	19.57±1.99*	20.65±2.92*	76.12±6.71	58.99±6.78*	58.41±5.78*	28.46±6.00	10.18±2.97*	11.03±2.85*
$F_{\text{时间/组间/交互}}$		0.748/53.063/18.854			0.637/37.847/13.634			0.485/33.718/14.157		
$P_{\text{时间/组间/交互}}$		0.285/<0.001/<0.001			0.313/<0.001/<0.001			0.448/<0.001/<0.001		
组别	例数	VAS评分(分)			ODI评分(分)					
		术前	术后1 d	术后12个月	术前	术后1 d	术后12个月			
观察组	56	6.34±1.76	2.52±0.57*	0.81±0.32 ^{ab}	40.03±3.74	19.75±3.24*	10.53±2.96 ^{ab}			
对照组	58	6.20±1.58	2.40±0.46*	0.75±0.19 ^{ab}	41.31±4.04	20.74±3.92	11.03±3.13 ^{ab}			
$F_{\text{时间/组间/交互}}$		6.713/57.845/19.304			7.734/48.756/19.745					
$P_{\text{时间/组间/交互}}$		0.006/<0.001/<0.001			0.004/<0.001/<0.001					

注：“*”表示与同组术前比较 $P<0.05$ ；“^{ab}”表示与术后1 d比较 $P<0.05$

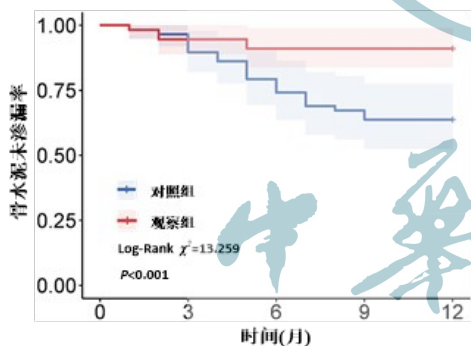


图14 生存曲线分析两组患者术后不良反应

比和Cobb角均保持良好；影像学指标与疼痛和功能评分不一致可能是由于手术可明显改善患者骨折椎体症状，影像学指标在术后早期即可见明显改善，远期无明显变化，而术后早期患者病椎软组织处和手术穿刺处仍有功能受限和疼痛，并在后期逐渐恢复^[19]。此外，术后随访12个月，两组患者均未出现神经功能损伤及卧床相关并发症，且行3D打印技术联合PVP治疗的患者骨水泥渗漏率明显低于单纯行PVP治疗的患者。提示3D打印技术联合PVP可

以明显改善OVCF患者预后。

为了解OVCF患者发生骨水泥渗漏的原因，本研究基于随访结果将入组的114例OVCF患者分为渗漏组和未渗漏组发现，两组患者的骨水泥注射量、终板/后壁完整、椎体压缩程度、治疗术式差异均有统计学意义。Logistic回归分析发现，治疗术式、椎体压缩程度、骨水泥注射量、终板/后壁完整是术后骨水泥渗漏的影响因素。与以往研究结果一致^[20-21]。为探究3D打印技术+PVP术对骨水泥渗漏的影响，本研究进一步建立两个预测模型，模型1将治疗术式纳入研究，模型2未纳入治疗术式。模型评价结果显示，预测模型1曲线下面积0.857(95% CI: 0.818~0.926)，预测灵敏度为83.9%，特异度为87.5%。模型2AUC为0.760(95% CI: 0.702~0.841)，预测灵敏度为72.9%，特异度为75.3%，提示模型1具有更高的预测价值。使用ROC及内部数据验证模型发现，模型稳定、预测较好。

综上所述，3D打印技术联合PVP术可降低OVCF尤其是扁平型骨折和双凹型骨折患者术中透

表4 影响术后骨水泥渗漏的单因素分析

组别	例数	性别[例(%)]		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	病程(年, $\bar{x}\pm s$)	骨密度(g/ cm ² , $\bar{x}\pm s$)	骨水泥注射 量(mL, $\bar{x}\pm s$)	骨折部位[例(%)]		
		男	女					腰椎	胸腰段	多节段
渗漏组	27	12(44.4)	15(55.6)	73.82±6.39	10.65±1.73	0.62±0.13	6.24±1.38	11(40.7)	9(33.3)	7(26.0)
未渗漏组	87	33(37.9)	54(62.1)	74.94±7.52	11.06±2.15	0.58±0.11	7.09±1.58	20(23.0)	42(48.3)	25(28.7)
χ^2 值		0.366		0.699	0.903	1.580	2.512	3.474		
P值		0.545		0.486	0.368	0.117	0.013	0.176		

组别	例数	椎体压缩程度[例(%)]			终板/后壁完整[例(%)]		治疗术式[例(%)]	
		重度	中度	轻度	否	是	PVP术	3D打印技术+PVP术
渗漏组	27	15(55.6)	9(33.3)	3(11.1)	18(66.7)	9(33.3)	22(81.5)	5(18.5)
未渗漏组	87	10(11.5)	46(52.9)	31(35.6)	28(32.2)	59(67.8)	36(41.4)	51(58.6)
χ^2 值		24.026			10.179		13.259	
P值		<0.001			0.001		<0.001	

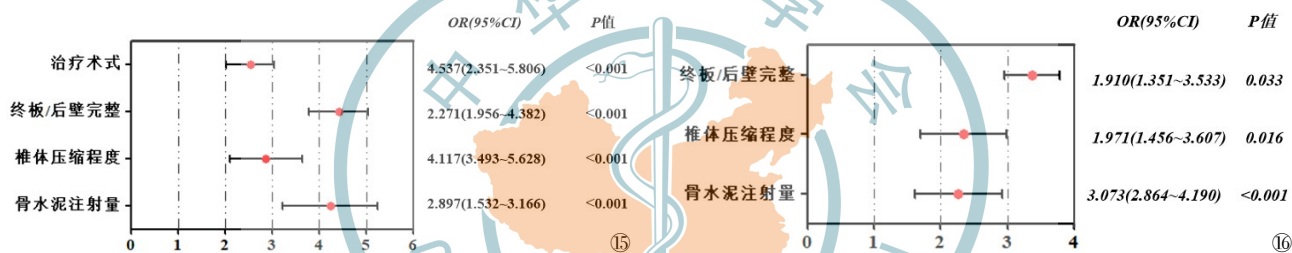


图15 模型1(纳入治疗术式的森林图) 图16 模型2(未纳入治疗术式的森林图)

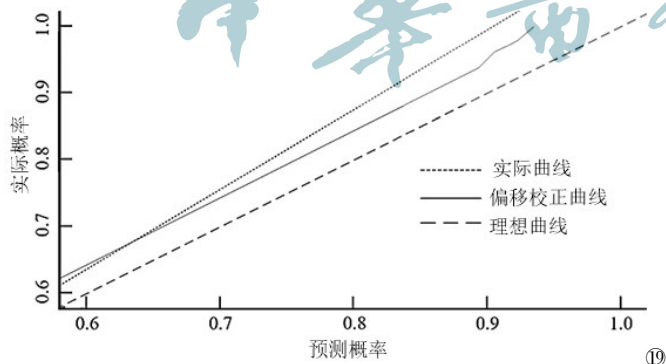
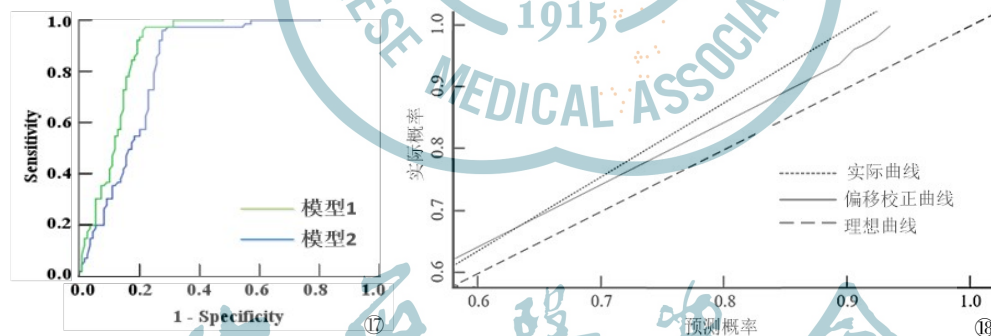


图17 ROC预测模型评价

图18 模型1的内部验证校准图

图19 模型2的内部验证校准图

射次数和穿刺时间,改善术后ODI评分和VAS评分,降低骨水泥渗漏风险。然而,本研究样本量不足,其安全性和应用价值还有待进一步多中心研究且加大样本量加以验证。

参考文献

1 Yassin MA, Abdel Rahman MO, Hamad AA, et al. Denosumab versus zoledronic acid for patients with beta-thalassemia major-induced osteoporosis [J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(51): e23637.

表5 赋值变量表

变量	赋值
骨水泥注射量	<6.67 mL=0, ≥6.67 mL=1
椎体压缩程度	低度=0, 中度=1, 重度=2
终板/后壁完整	是=0, 否=1
治疗术式	3D打印技术+PVP术=0, PVP术=1

2 Zhang X, Ji A, Wang Z, et al. Azide-dye unexpected bone targeting for near-infrared window II osteoporosis imaging [J]. *J Med Chem*, 2021, 64(15): 11543-11553.

3 陈宏亮, 郭开今, 段钢, 等. 单侧椎弓根旁入路PKP治疗腰椎OVCF的临床疗效观察 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2021, 7(3): 140-146.

4 顾晨希, 虞宵, 黄安全, 等. 不同穿刺入路行椎体成形术治疗骨质疏松椎体压缩骨折的研究进展 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2022, 08(2): 117-122.

5 Xu HT, Zheng S, Kang MY, et al. A novel computer navigation model guided unilateral percutaneous vertebroplasty for vertebral compression fracture: A case report [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(44): e22468.

6 Zhai GW, Li A, Liu BF, et al. A meta-analysis of the secondary fractures for osteoporotic vertebral compression fractures after percutaneous vertebroplasty [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(16): e25396.

7 Ma Y, Xie L, Yang B, et al. Three-dimensional printing biotechnology for the regeneration of the tooth and tooth-supporting tissues [J]. *Biotechnol Bioeng*, 2019, 116(2): 452-468.

8 Wang DL, Cang DW, Wu Y, et al. Therapeutic effect of percutaneous vertebroplasty and nonoperative treatment on osteoporotic vertebral compression fracture: A randomized controlled trial protocol [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(27): e20770.

9 Wang MY, Jin QH. High-viscosity bone cement for vertebral compression fractures: a prospective study on intravertebral diffusion and leakage of bone cement [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21(1): 589.

10 Dai CA, Liang G, Zhang YS, 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.

11 Kou YH, Zhang DY, Zhang JD, et al. Vertebroplasty with high-vis-

cosity cement versus conventional kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis [J]. *ANZ J Surg*, 2022, 92(11): 2849-2858.

12 Zhuang M, Cai B, Wang FF. Effectiveness and safety of percutaneous kyphoplasty combined with zoledronic acid in treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2022, 142(10): 2435-2443.

13 Hao YB, Zhang WJ, Chen MJ, et al. Sensitivity of magnetic resonance tomographic angiography for detecting the degree of neurovascular compression in trigeminal neuralgia [J]. *Neurol Sci*, 2020, 41(10): 2947-2951.

14 孟士超, 吴斗, 赵恩哲, 等. 骶髂螺钉治疗骨盆后环骨折及辅助置钉技术的研究进展 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2021, 7(3): 187-192.

15 Zammit D, Safran T, Ponnudurai N, et al. Step-Specific simulation: the utility of 3D printing for the fabrication of a Low-Cost, learning Needs-Based rhinoplasty simulator [J]. *Aesthet Surg J*, 2020, 40(6): NP340-NP345.

16 郭波, 柳柳, 马旭, 等. 3D打印胶原/羟基磷灰石支架对骨髓间充质干细胞成骨分化的作用研究 [J]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2020, 6(3): 123-127.

17 赵晖, 邹明, 胡伟, 等. 单侧与双侧穿刺PKP治疗骨质疏松性胸腰椎压缩骨折的疗效比较 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2019, 34(5): 494-496.

18 Park EJ, Lee HJ, Jang MG, et al. A novel vertebroplasty technique using a larger-diameter needle for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fracture [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(22): 26174.

19 Lou S, Shi X, Zhang X, et al. Percutaneous vertebroplasty versus non-operative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Osteoporos Int*, 2019, 30(12): 2369-2380.

20 Zhang S, Wang GJ, Wang Q, et al. A mysterious risk factor for bone cement leakage into the spinal canal through the Batson vein during percutaneous kyphoplasty: a case control study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 423.

21 Leu TH, Wei Y, Hwua YS, et al. Fabrication of PLLA/C3S composite membrane for the prevention of bone cement leakage [J]. *Polymers (Basel)*, 2019, 11(12): 1971.

(收稿日期: 2025-07-12)

(本文编辑: 吕红芝)

金浪, 石洁, 黄正, 等. 3D打印数字技术辅助PVP治疗胸腰椎多节段骨质疏松性椎体压缩性骨折的临床研究 [J/CD]. *中华老年骨科与康复电子杂志*, 2026, 12(2): 65-71.