

# 椎体成形术后再发椎体骨折风险预测模型的建立

王恩杰, 李庆辉, 陈允震\*

山东大学齐鲁医院脊柱外科, 山东 济南

收稿日期: 2024年2月27日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月28日

## 摘要

目的: 探讨骨质疏松性椎体骨折患者行椎体成形术后1年内再发椎体骨折的影响因素, 并建立风险预测模型。方法: 将2020年至2022年期间于山东大学齐鲁医院因骨质疏松性椎体骨折接受椎体成形术治疗的患者纳入研究, 并进一步将其分为训练队列和验证队列。利用单因素分析和基于Akaike信息准则(AIC)的逐步logistic回归法分析椎体成形术后1年内再发骨折的影响因素, 建立风险预测模型并以列线图的形式将其可视化。我们通过Brier评分、受试者工作曲线(ROC)、校正曲线、临床决策曲线分析(DCA)和临床影响曲线(CIC)对模型的性能进行了评估和验证。结果: 经排除后, 共有780名患者入选。年龄、性别、吸烟史、用药情况、佩戴支具情况、日照情况、 $\beta$ 胶原降解产物、总I型胶原氨基端延长肽、高密度脂蛋白胆固醇9个因素是骨质疏松性椎体骨折患者行椎体成形术后1年内再发椎体骨折的影响因素; 预测模型验证结果显示: C指数分别为训练队列0.851, 验证队列为0.820, Brier评分为0.090, 证明模型的判别能力及准确度较高。临床决策分析和临床影响曲线结果表明, 预测模型可为患者带来临床获益。结论: 吸烟、不规范使用抗骨质疏松药物、术后佩戴支具时间不足、每日平均日照时间不足等可增加椎体成形术后1年内再发椎体骨折的风险, 该模型可以较准确地预测骨质疏松椎体压缩性骨折患者行椎体成形术后1年内再发椎体骨折风险。

## 关键词

骨质疏松症, 再发椎体骨折, 椎体成形术, 列线图, 预测

## Nomogram to Predict the Occurrence of Recurrent Vertebral Fracture after Vertebroplasty

Enjie Wang, Qinghui Li, Yunzhen Chen\*

Department of Spinal Surgery, Qilu Hospital of Shandong University, Jinan Shandong

\*通讯作者。

文章引用: 王恩杰, 李庆辉, 陈允震. 椎体成形术后再发椎体骨折风险预测模型的建立[J]. 临床医学进展, 2024, 14(3): 1594-1604. DOI: 10.12677/acm.2024.143883

## Abstract

**Objective:** To investigate the influencing factors of recurrent vertebral fracture within one year after vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral fracture, and to establish a predictive model. **Methods:** Patients who underwent vertebroplasty for osteoporotic vertebral fracture at Qilu Hospital of Shandong University between 2020 and 2022 were enrolled in the study and further divided into a training cohort and a validation cohort. Factors influencing the recurrent fracture within one year after vertebroplasty were analyzed using univariate analysis and stepwise logistic regression based on Akaike's information criterion (AIC), and a risk prediction model was developed in the form of a column-line graph. We evaluated and validated the performance of the model by Brier scores, receiver operating characteristic (ROC), calibration curves, decision curve analysis (DCA), and clinical impact curves (CIC). **Results:** After exclusion, a total of 780 patients were enrolled. Nine factors namely, age, gender, smoking history, medication use, brace wear, sun exposure,  $\beta$ -cross, TP1NT, and HDL-C, were the influencing factors for recurrent vertebral fractures in osteoporotic vertebral fracture patients within one year of vertebroplasty. The results of the validation of the predictive model showed that the C-index was 0.851 for the training cohort and 0.820 for the validation cohort, and the Brier score was 0.090, which proved that the model's discriminative ability and accuracy were high. The results of clinical decision analysis and clinical impact curves showed that the predictive model could bring clinical benefits to patients. **Conclusion:** Smoking, unregulated use of anti-osteoporotic medications, insufficient postoperative support wearing time, and insufficient average daily sunlight exposure can increase the risk of recurrent vertebral fracture within one year after vertebroplasty, and the model can more accurately predict the risk of recurrent vertebral fracture within one year after vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fractures.

## Keywords

Osteoporosis, Recurrent Vertebral Fracture, Vertebroplasty, Nomogram, Prediction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

骨质疏松症是一种常见的代谢性疾病，通常由多种因素引起，尤其多见于老年人[1] [2]。骨质疏松性椎体骨折是骨质疏松症最常见的并发症之一。椎体成形术具有安全、可靠、疗效好的特点，从而成为治疗骨质疏松性椎体骨折的重要手段[3]。

然而，作为一种侵入性手术，椎体成形术也面临着与手术相关的风险，其中最常见的是再发生的骨质疏松性椎体骨折[4]。以往的研究表明，椎体成形术后再发椎体骨折的增加是多种因素相互作用的结果，如手术方式、骨水泥注入量和骨质疏松症等[5]。一旦再发生椎体骨折，患者往往会出现急性或慢性腰背痛，并伴有进行性畸形，甚至会增加其死亡的风险[6] [7] [8]。因此，如果能够提前评估椎体成形术后再发骨折的风险，并提前采取干预措施，就可以降低椎体再发骨折的发生率，提高患者术后的生活质量，减轻患者的经济负担。目前，已有这方面的报道，但现有模型不够全面。如 Fu Cheng Bian 等人[9]的这

篇研究报道,他们建立了评估再发椎体骨折风险的预测模型,他们主要关注骨水泥渗漏方面带来的风险。然而,他们忽略了一些临床容易获取的血清学指标、患者术后用药情况以及生活习性与再发椎体骨折风险之间的关系。我们正在做的是收集患者的血清学指标、患者术后用药情况以及生活习性等,将这些因素进行经过多因素分析及模型拟合后构建适用于因骨质疏松性椎体骨折行椎体成形术后患者的再发椎体骨折预测模型,从而能更好地为再发椎体骨折风险高的患者提供个体化干预。

回归分析在医学研究中用途广泛,因为它可以测量相关性、预测结果并控制混合变量的影响。logistic 回归可以通过量化每个自变量的独特贡献来分析一组自变量对二元结果的影响[10]。Akaike 信息准则(AIC)是评估统计模型的复杂度和衡量统计模型数据拟合度的一种标准。当候选模型集中没有真正的模型时,Akaike 信息准则是有用的,因为它会渐进地选择一个能使预测/估计的均方误差最小的模型[11]。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

本研究为回顾性研究。研究纳入了 2020 年 1 月至 2022 年 12 月期间在山东大学齐鲁医院因骨质疏松性椎体骨折接受椎体成形术的患者。纳入标准:1) 骨密度符合世界卫生组织对骨质疏松症的诊断标准的原发性骨质疏松症;2) 与影像学椎体骨折一致的疼痛或局部压痛;3) 术前脊柱 X 光和磁共振成像(MRI)结果;4) 椎体成形术的初步治疗以及椎体成形术后 MRI 发现的新骨折。排除标准:1) 非骨质疏松性椎体骨折或继发于其他因素的压缩性骨折应力。2) 病历信息不完整或电话随访失访。3) 有严重影响骨代谢疾病或正在服用影响骨代谢的药物。数据以 7:3 的比例随机分为训练队列和验证队列。

由于只收集了去身份化的数据,因此对研究参与者没有风险。根据《赫尔辛基宣言》(1964 年)及其后续修正案,这项回顾性研究无需征得患者的正式同意。本研究已通过山东大学齐鲁医院医学伦理委员会批准。

### 2.2. 研究方法

经医院医务部审核批准,收集了因骨质疏松性椎体骨折接受椎体成形术的患者基本资料,根据纳入和排除标准摘录相关信息。通过翻阅文献、结合临床经验最终选取了 32 个可能与再发椎体骨折相关的影响因素如下:患者一般资料:年龄、性别、体重指数、平均动脉压、吸烟史(一生中连续或累积吸烟 6 个月及以上者)、饮酒史(男性一天饮用酒的酒精量超过 25 g,或女性超过 15 g)、是否为独居生活;诊疗相关资料:高血压病史、冠心病病史、脑血管病史(脑出血或脑卒中)、糖尿病史、骨折与治疗史、抗骨质疏松用药情况(仅关注用药情况,不区分剂型、用法和用药频次,仅计算有效服药时间是否足够)、佩戴支具情况(仅关注佩戴支具情况,不分支具类型、用法,仅计算佩戴支具时间是否足够)、1 年内平均每日日照时间(每日的平均日照时长是否大于 1 小时);住院期间第一次实验室指标。预测模型的主要结果事件是椎体成形术后 1 年内椎体骨折的再发生。再发骨折的结局评定源自两方面:一是患者因骨折再次入院治疗记录(医疗诊断明确,新发生的椎体骨折);二是电话随访:患者发生再骨折但未入院治疗,符合 2023 年骨质疏松性椎体骨折诊断标准[中国老年骨质疏松症诊疗指南 2023]。

### 2.3. 统计学分析

资料收集完成后采用 SPSS (27.0)建立数据库,采用 R 软件进行统计分析。基础资料描述:连续变量采用均值和范围表示,分类变量采用频率和百分比进行描述。预测模型构建:按照选择种子数 10,000 随机抽取 70%立模型,30%证模型。采用 R version 4.3.0 进行 logistic 回归单因素分析初步筛选可能有意义的变量,经过初筛后,将 P 值 < 0.05 及 P 值 > 0.05 但临床或既往研究认为该因素确为结局影响因素的指标纳入 logistic 多因素分析模型。使用 AIC 准则逐步回归得到最优模型。预测模型诊断采用一致性指数

(C-index), 预测模型的拟合优度采用霍斯默 - 莱梅肖检验(Hosmer and Lemeshow goodness)。采用受试者工作曲线(Receiver Operating Characteristic curve, ROC)的曲线下面积(Area Under Curve, AUC)、Brier 评分以及校正曲线和临床决策曲线(Decision Curve Analysis, DCA)和临床影响曲线(Clinical Impact Curve, CIC)来评价预测模型, 应用 R 软件绘制模型列线图。双侧 0.05 为差异有统计学意义。

### 3. 结果

#### 3.1. 基线人口学特征

经过筛选, 2020 年 1 月至 2022 年 12 月共有 1920 例患者于山东大学齐鲁医院接受椎体成形术治疗, 符合纳入排除标准者 780 例。其中, 男性 213 例, 女性 567 例; 年龄 52~87 ( $66.74 \pm 6.88$ ) 岁。按照选择种子数 10,000 随机抽取 7/10 即 546 例用于训练队列, 3/10 即 234 例用于验证队列。训练队列和验证队列患者在年龄、性别、体重指数、平均动脉压、吸烟史、饮酒史、用药情况、佩戴支具情况、日照情况、可能与再发骨折相关的体质指数与血清实验室指标等各变量间的比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

#### 3.2. 单因素分析

共计 16 个因素(年龄、性别、吸烟史、饮酒史、抗骨质疏松药物治疗半年及以上、术后佩戴支具 3 个月以上、每日平均日照时间大于 1 小时、体重指数、谷丙转氨酶、高密度脂蛋白胆固醇、甘油三酯、钙、磷、甲状旁腺素、总 25 羟基维生素 D、 $\beta$  胶原降解产物、总 I 型胶原氨基端延长肽、)被筛出, 其中除了性别、抗骨质疏松药物治疗半年及以上、每日平均日照时间大于 1 小时, 其余指标 P 值均小于 0.05 (表 1)。性别、抗骨质疏松药物治疗半年及以上、每日平均日照时间大于 1 小时在临床上被认为是发生椎体再骨折的影响因素, 亦被运行到下一步多因素 logistic 回归分析。

**Table 1.** Univariate analysis in influence factors of re-fracture after vertebroplasty

**表 1.** 椎体成形术后再发骨折的单因素分析

变量	回归系数	标准误	风险比(95% CI)	P 值
年龄	0.13	0.02	1.14 (1.10~1.18)	<0.001
体重指数	-0.13	0.05	0.88 (0.80~0.97)	0.008
平均动脉压	-0.00	0.01	1.00 (0.98~1.02)	0.909
C 反应蛋白	0.00	0.01	1.00 (0.99~1.01)	0.573
凝血酶原时间	0.04	0.10	1.04 (0.86~1.26)	0.668
活化部分凝血活酶时间	0.03	0.02	1.03 (0.99~1.08)	0.134
谷丙转氨酶	-0.04	0.02	0.96 (0.93~0.99)	0.018
谷草转氨酶	-0.01	0.01	0.99 (0.97~1.02)	0.670
白蛋白	-0.05	0.03	0.95 (0.90~1.00)	0.071
总胆固醇	-0.12	0.12	0.89 (0.71~1.12)	0.307
高密度脂蛋白胆固醇	0.60	0.30	1.82 (1.01~3.28)	0.046
低密度脂蛋白胆固醇	-0.31	0.16	0.73 (0.54~1.00)	0.053
甘油三酯	-0.88	0.29	0.41 (0.23~0.74)	0.003
尿素氮	-0.05	0.07	0.95 (0.83~1.09)	0.454

续表

肌酐	0.00	0.01	1.00 (0.98~1.02)	0.930
钙	-2.04	0.88	0.13 (0.02~0.73)	0.021
磷	-1.33	0.65	0.27 (0.07~0.95)	0.041
甲状旁腺素	0.01	0.00	1.01 (1.01~1.02)	0.020
总 25 羟基维生素 D	-0.04	0.01	0.96 (0.93~0.99)	0.008
$\beta$ 胶原降解产物	0.57	0.28	1.77 (1.03~3.07)	0.040
总 I 型胶原氨基端延长肽	-0.02	0.01	0.98 (0.97~0.99)	0.003
性别	-0.29	0.29	0.75 (0.42~1.33)	0.320
高血压病史	-0.04	0.25	0.96 (0.58~1.58)	0.876
冠心病病史	-0.77	0.41	0.47 (0.21~1.05)	0.065
脑血管病史	-0.37	0.62	0.69 (0.20~2.34)	0.552
糖尿病史	-0.35	0.40	0.71 (0.33~1.54)	0.384
吸烟史	1.03	0.33	2.81 (1.49~5.33)	0.002
饮酒史	0.92	0.36	2.52 (1.24~5.14)	0.011
抗骨质疏松药物治疗半年及以上	-0.43	0.26	0.65 (0.39~1.09)	0.106
术后佩戴支具 3 个月以上	-1.20	0.31	0.30 (0.16~0.55)	<0.001
平均每日日照时间大于 1 小时	-0.31	0.28	0.73 (0.42~1.27)	0.270
独居生活	-1.12	0.61	0.33 (0.10~1.07)	0.064

### 3.3. Logistic 回归分析与预测模型建立

建立预测模型：以椎体成形术后再发椎体骨折为结局变量，将单因素分析结果有意义的指标纳入 logistic 回归多因素分析，最终筛选出 9 个变量(表 2)，构建预测模型，该模型的 Brier 评分为 0.090，小于 0.1，说明模型的精准度较高(图 1)。通过霍斯默 - 莱梅肖检验对模型的拟合度进行检验，得出卡方值为 7.6387，自由度等于 8，P 值等于 0.4695 大于 0.05，说明模型拟合优度较好。

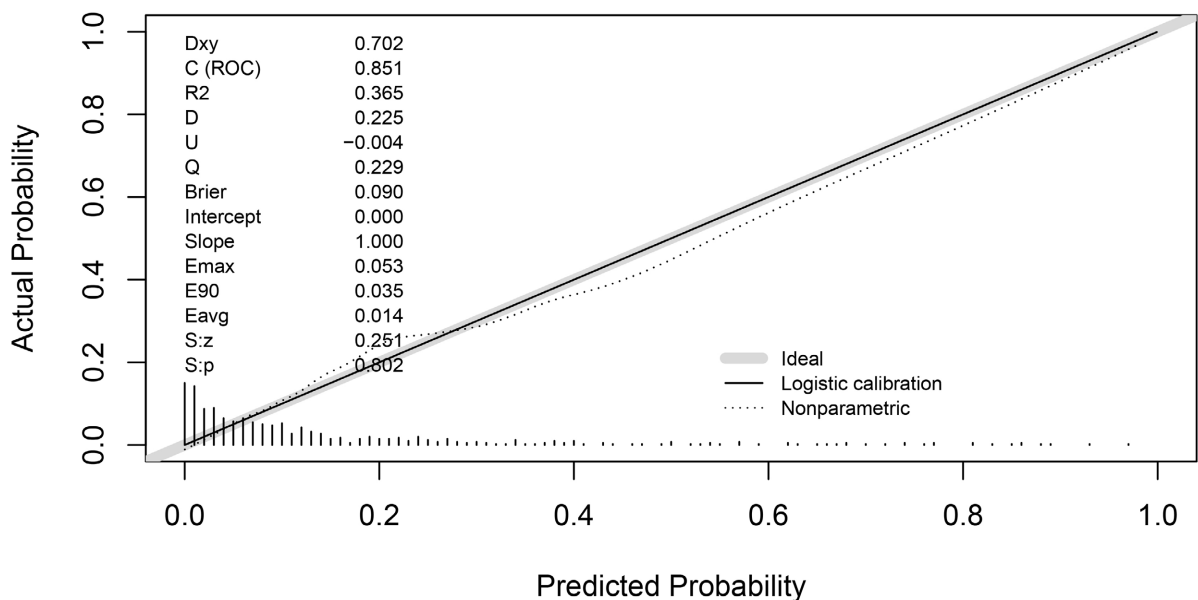
**Table 2.** Multivariate analysis in influence factors of re-fracture after vertebroplasty

**表 2.** 椎体成形术后再发骨折的多因素分析

变量	风险比	P	95% CI
年龄	1.119	<0.0001	1.070~1.169
体重指数	0.948	0.383	0.842~1.068
谷丙转氨酶	0.972	0.189	0.932~1.014
高密度脂蛋白胆固醇	2.170	0.030	1.080~4.361
甘油三酯	0.567	0.096	0.290~1.107
钙	0.342	0.337	0.038~3.060
磷	0.837	0.843	0.144~4.854

续表

甲状旁腺素	1.002	0.745	0.989~1.015
总-25 羟基维生素 D	0.969	0.071	0.936~1.003
$\beta$ -胶原降解产物	3.122	0.002	1.496~6.518
总 I 型胶原氨基端延长肽	0.978	0.001	0.965~0.991
性别	0.217	0.002	0.082~0.572
吸烟史	5.925	0.012	1.480~23.716
饮酒史	1.165	0.855	0.227~5.982
抗骨质疏松药物治疗半年	0.186	<0.0001	0.087~0.400
术后佩戴支具 3 个月	0.139	<0.0001	0.060~0.320
充足的日照时间	0.296	0.002	0.136~0.648

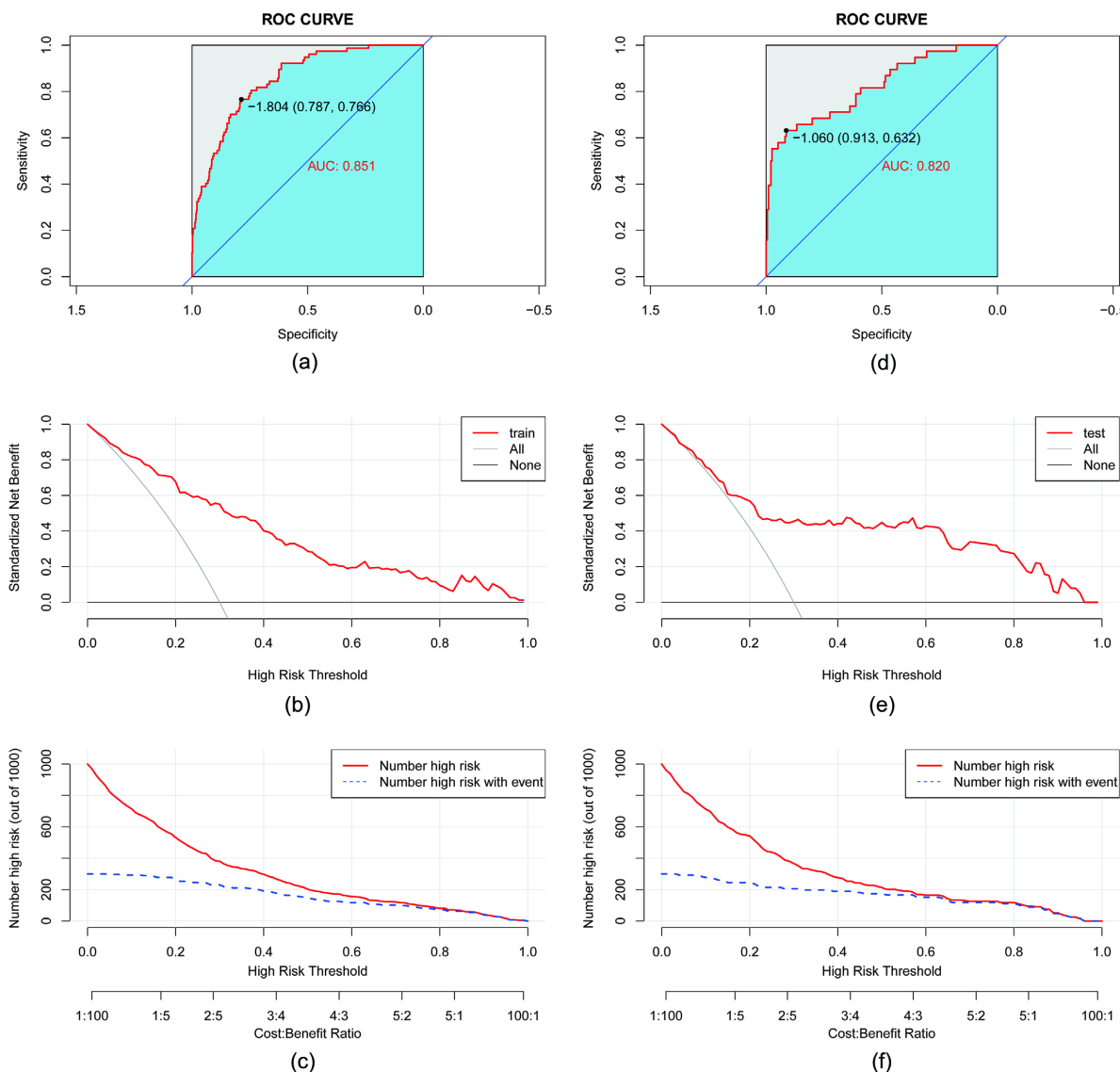


**Figure 1.** Calibration curve of the predictive model

**图 1.** 预测模型校准曲线

### 3.4. 模型性能评估

最终模型的辨别能力通过测量 ROC 曲线的 AUC 值获得。验证队列和训练队列的 AUC 值分别为 0.851 (图 2(a))和 0.820 (图 2(d))，均>0.75，表明模型具有较好的特异性与敏感性。临床决策曲线(DCA)可以帮助我们判断使用一种模型进行临床决策是否有益，或者哪种模型对临床决策的贡献更大，它的优势在于它倾向于将患者或决策者的偏好纳入分析。这是一个符合临床决策实际需要的概念[12]。在我们的研究中，DCA 表明，构建的预测模型在阈值概率上增加了更多的净获益，更准确地预测了再发椎体骨折事件(图 2(b))，这一结果在验证队列中得到了验证(图 2(e))。临床影响曲线(CIC)结果可以表明，模型是否遗漏了真正的阳性患者。在我们的研究中，临床影响曲线显示：构建的列线图能更准确地预测再发椎体骨折事件(图 2(c))，这一结果在验证队列中得到了验证(图 2(f))。



**Figure 2.** Receiver operating characteristic curve, decision curve analysis and clinical impact curve for training cohort ((a)~(c)) and validation cohort ((d)~(f))

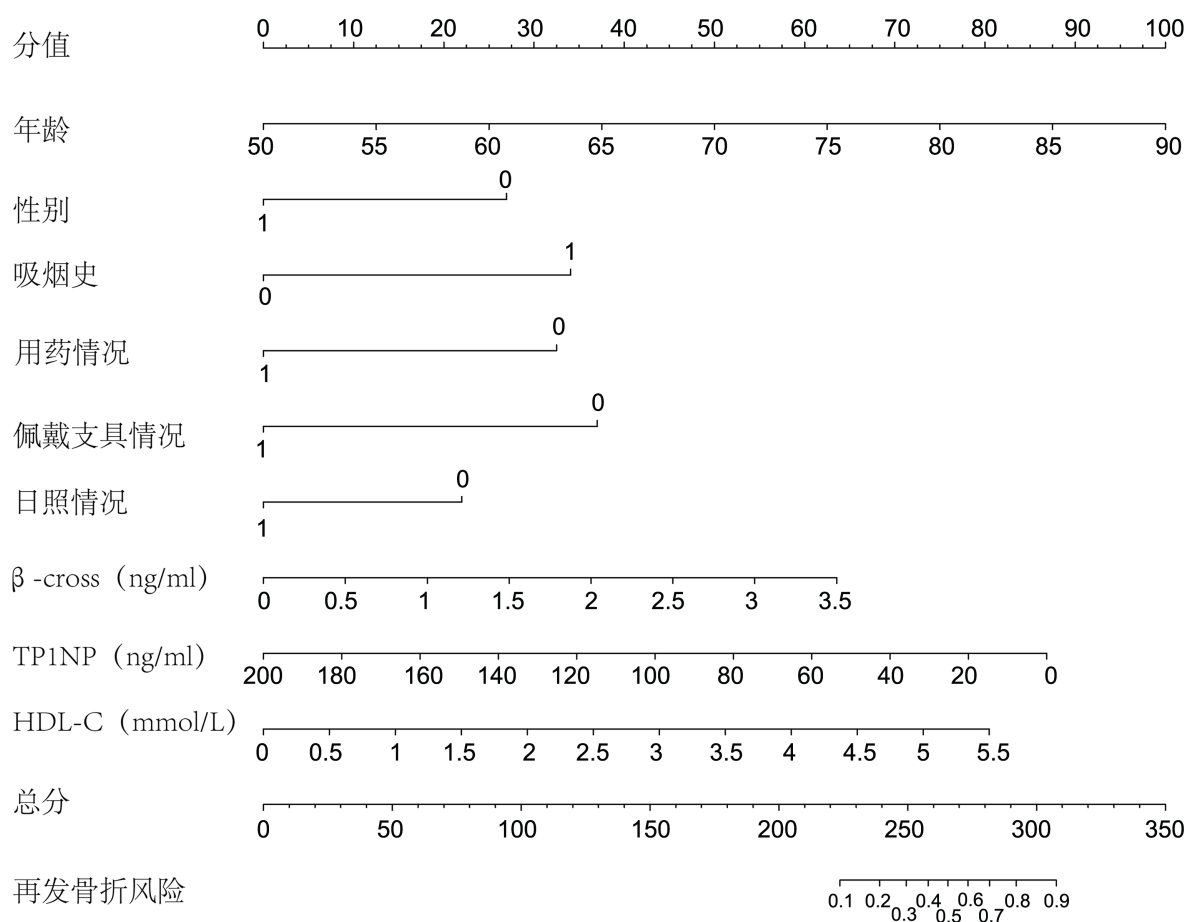
**图 2.** 模型训练队列((a)~(c))和验证队列((d)~(f))的 ROC 曲线、临床决策曲线、临床影响曲线

### 3.5. 预测模型的可视化

根据上述 logistic 回归多因素分析确定的因素，对纳入预测模型的 9 个变量进行赋值，结合各个因素在预测模型中的回归系数，构建了一个列线图。各变量在列线图上的评分刻度与各变量的回归系数相关，具体刻度划分由 R 系统生成(图 3)单变量刻度范围为 0~100，总分为各变量单项得分累加，总分刻度范围为 0~350 分。

## 4. 讨论

本研究共纳入 780 名因骨质疏松性椎体骨折入院行椎体成形术治疗的患者，其中 1 年内再发椎体骨折的患者有 115 名，1 年内再发骨折发生率为 14.7%。患者行椎体成形术后一旦再发生椎体骨折，往往会造成较严重后果，如较高的医疗费用和持续难以缓解的疼痛等。随着人口老龄化的加剧，骨质疏松症、



性别: 1 为男性, 2 为女性; 吸烟史: 1 为有, 0 为无; 用药情况: 1 为规律使用抗骨质疏松药物治疗半年及以上, 0 为未规律使用抗骨质疏松治疗或治疗时间不足半年; 佩戴支具情况: 1 为术后佩戴支具 3 个月及以上, 0 为术后未佩戴支具或佩戴支具时间不足 3 个月; 日照情况: 1 为术后每日平均日照时间大于 1 小时, 0 为术后每日平均日照时间不足 1 小时;  $\beta$ -cross:  $\beta$  胶原蛋白降解产物; TP1NP: 总 I 型胶原氨基端延长肽; HDL: 高密度脂蛋白胆固醇。

**Figure 3.** Nomogram of predictive model for vertebral re-fracture

**图 3.** 再发椎体骨折风险预测列线图

椎体压缩性骨折等疾病的发病率逐渐升高。尽管许多研究报道了骨质疏松性骨折预防措施的有效性, 但这些措施很可能未能够被充分利用。此外, 现有的评估工具, 如双能定量计算机断层扫描(DEQCT), 因测量仪器分布不广、费用较高等原因, 使得其在评估再发椎体骨折风险方面的价值有限。有些模型旨在评估椎体成形术后再发椎体骨折的概率。然而, 它们大部分仅关注影像学, 而忽略了实验室检查与术后患者的生活习惯。与影像学相比, 实验室检查的优势在于采集方便。此外, 术后是否规律用药及佩戴支具等也是预防再发椎体骨折的重要因素。

在本研究中, 将收集的所有变量分别采用 logistic 回归多因素分析, 结合模型拟合结果, 最终确定影响椎体成形术后 1 年内再发骨折的因素包括: 年龄、性别、吸烟史、用药情况、佩戴支具情况、日照情况、 $\beta$  胶原降解产物、总 I 型胶原氨基端延长肽、高密度脂蛋白胆固醇, 其中年龄、性别为女性、长期吸烟、 $\beta$  胶原降解产物及高密度脂蛋白胆固醇含量高为危险因素, 规律使用抗骨质疏松药物半年及以上, 椎体成形术后佩戴支具 3 个月以上、每日平均日照时长大于 1 小时及总 I 型胶原氨基端延长肽含量较高为椎体再骨折的保护因素。



在我们的研究中, 数据显示长期吸烟(OR 值 = 5.925)是再发椎体骨折的重要危险因素, Wen Yuan Hou [13]等研究发现, 长期吸烟的患者, 体内可替宁(cotinine)含量会高于不吸烟的患者, 这是一种尼古丁在人体代谢后的产物。而他们的研究发现患者体内的可替宁水平与骨质疏松症的发病率呈明显的正相关, 尤其是在女性中。同时他们还发现了长期吸烟会导致患者的骨量减少。即使添加了其他因素(教育水平、饮酒状况、贫困状况、身体活动状况、总能量摄入、总胆固醇水平、高密度脂蛋白胆固醇水平、血清钙水平、泼尼松或可的松使用史, 以及高血压、糖尿病、心血管疾病和癌症的诊断), 这种关系也保持不变。而骨量减少往往意味着骨的脆性增加, 从而导致椎体再骨折发生的风险增加。同时, Lars Tue Sørensen 等[14]及 Jean Wong [15]等研究表明, 尼古丁会减少组织灌注, 因为血小板聚集增加, 微血管前列环素水平降低, 以及尼古丁对成纤维细胞、红细胞和巨噬细胞功能的抑制作用。此外, 一氧化碳对血红蛋白具有很高的结合亲和力, 可通过置换血红蛋白中的氧气来降低组织氧合, 从而使得吸烟患者出现术后骨折不愈合率、延迟愈合率和愈合时间增加。

椎体成形术后患者规律使用抗骨质疏松药物半年以上(OR 值为 0.186)、术后佩戴支具 3 个月以上(OR 值为 0.139)及每日平均日照时间大于 1 小时(OR 值为 0.296)都可降低患者术后再次发生椎体骨折的风险。首先 Shan-Fu Yu [16]等提出规律使用抗骨质疏松药物的患者远期再骨折发生率明显低于未规律用药的患者。结合临床经验, 我们认为规律使用抗骨质疏松药物半年可有效改善患者的骨质疏松情况, 不论是通过促进成骨还是抑制破骨的药物作用, 都可以较大程度地改善患者的骨质疏松程度, 从而达到降低 1 年内再发骨折风险的目的。而术后佩戴支具 3 个月以上可为患者在疏松骨质尚未得到改善之前提供一定的支撑保护作用, 减少脆性骨折的发生。此外, Jingwei Cheng [17]等的研究表明, 日晒可以增加患有骨质减少的老年人的骨密度, 这可能与日晒促进 25 羟维生素 D3 的合成有关。

我们还发现,  $\beta$ -胶原降解产物与再发椎体骨折之间存在关联, 数据显示其 OR 值为 3.122。这一发现表明,  $\beta$  胶原降解产物是再发椎体骨折的高危因素。目前,  $\beta$ -胶原降解产物代表破骨细胞的活性。当破骨细胞活跃时, 椎体内会有更多的骨质被破坏[18] [19] [20]。而总 I 型胶原氨基端延长肽(OR 值为 0.978)是再发骨折的保护因素, 总 I 型胶原氨基端延长肽(主要反映 I 型胶原蛋白的合成率和成骨效率, 是新骨形成的特异性敏感指标, 也是首选的骨形成标志物。总 I 型胶原氨基端延长肽可用于评估成骨活性和监测抗骨质疏松症疗法的疗效。总 I 型胶原氨基端延长肽还可用于预测骨质疏松症的发生, 因为它具有高度的特异性和敏感性, 而且不受激素的影响。当总 I 型胶原氨基端延长肽值升高时, 人体成骨细胞的活性增强, 骨量增加。因此总 I 型胶原氨基端延长肽值越高, 再发椎体骨折的风险越低[21] [22] [23] [24]。

此外, 高密度脂蛋白胆固醇(OR 值为 2.170)是再发椎体骨折的另一个危险因素。高密度脂蛋白胆固醇在脂代谢中起关键因素。通常被认为对人类是有益的, 高水平的 HDL-C 被认为更有利于长远预防心血管疾病[25]。而它与骨质疏松之间的关系尚未得到明确的证实, 目前的研究仅能证实 HDL-C 可作用于成骨细胞及破骨细胞从而发挥作用。但具体的作用机制尚未得知。Zhang [26]等观察到, HDL-C 与中国女性腰椎 BMD 呈负相关, 但这些关联的机制尚不清楚。

我们通过列线图的形式将预测模型进行了可视化处理, 这样更有利于将预测模型投入临床中应用。同时我们的预测模型通过霍斯默 - 莱梅肖检验对模型的拟合度进行检验, 得出卡方值为 7.6387, 自由度等于 8, P 值等于 0.4695 大于 0.05, 说明模型拟合优度较好, 同时 Brier 评分为 0.090, 小于 0.1, 说明模型的精准度较高。我们还通过 AUC 值来验证模型的辨别能力, 验证队列和训练队列的 AUC 值分别为 0.851 和 0.820, 均 > 0.75, 表明模型具有较好的特异性与敏感性。DCA 结果及 CIC 结果表明该模型的运用可为临床患者带来收益。

最后, 我们的研究还存在一些局限性。因为我们的数据是回顾性的, 我们还可以通过一些前瞻性的数据研究来进一步验证我们的预测模型。同时关于 HDL-C 与椎体成形术后 1 年内再发骨折是否具有明确

的关系还可以通过收集更多的样本进行分析验证。

## 5. 结论

综上所述，我们建立了一个风险预测模型，将其可视化用于帮助外科医生评估骨质疏松性椎体骨折患者行椎体成形术后 1 年内再发椎体骨折的风险。并更好地为患者提供个体化干预。

## 参考文献

- [1] Lee, S.K., Lee, S.H., Yoon, S.P., *et al.* (2014) Quality of Life Comparison between Vertebroplasty and Kyphoplasty in Patients with Osteoporotic Vertebral Fractures. *Asian Spine Journal*, **8**, 799-803. <https://doi.org/10.4184/asj.2014.8.6.799>
- [2] Drampalos, E., Nikolopoulos, K., Baltas, C., *et al.* (2015) Vertebral Fracture Assessment: Current Research Status and Application in Patients with Kyphoplasty. *World Journal of Orthopedics*, **6**, 680-687. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i9.680>
- [3] Buchbinder, R., Osborne, R.H., Ebeling, P.R., *et al.* (2009) A Randomized Trial of Vertebroplasty for Painful Osteoporotic Vertebral Fractures. *The New England Journal of Medicine*, **361**, 557-568. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0900429>
- [4] Chang, W., Zhang, X., Jiao, N., *et al.* (2017) Unilateral versus Bilateral Percutaneous Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*, **96**, e6738. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000006738>
- [5] An, Z., Chen, C., Wang, J., *et al.* (2021) Logistic Regression Analysis on Risk Factors of Augmented Vertebra Re-compression after Percutaneous Vertebral Augmentation. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **16**, Article No. 374. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02480-9>
- [6] Silverman, S.L. (1992) The Clinical Consequences of Vertebral Compression Fracture. *Bone*, **13**, S27-S31. [https://doi.org/10.1016/8756-3282\(92\)90193-Z](https://doi.org/10.1016/8756-3282(92)90193-Z)
- [7] Korovessis, P., Vardakastanis, K., Repantis, T., *et al.* (2013) Balloon Kyphoplasty versus KIVA Vertebral Augmentation—Comparison of 2 Techniques for Osteoporotic Vertebral Body Fractures: A Prospective Randomized Study. *Spine*, **38**, 292-299. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31826b3aef>
- [8] Diaz Jr., J.J., Cullinane, D.C., Altman, D.T., *et al.* (2007) Practice Management Guidelines for the Screening of Thoracolumbar Spine Fracture. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, **63**, 709-718. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318142d2db>
- [9] Bian, F., Bian, G., Zhao, L., *et al.* (2022) Risk Factors for Recollapse of New Vertebral Compression Fractures after Percutaneous Kyphoplasty in Geriatric Patients: Establishment of a Nomogram. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 458. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05409-3>
- [10] Stoltzfus, J.C. (2011) Logistic Regression: A Brief Primer. *Academic Emergency Medicine*, **18**, 1099-1104. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2011.01185.x>
- [11] Vrieze, S.I. (2012) Model Selection and Psychological Theory: A Discussion of the Differences between the Akaike Information Criterion (AIC) and the Bayesian Information Criterion (BIC). *Psychological Methods*, **17**, 228-243. <https://doi.org/10.1037/a0027127>
- [12] Van Calster, B., Wynants, L., Verbeek, J.F., M., *et al.* (2018) Reporting and Interpreting Decision Curve Analysis: A Guide for Investigators. *European Urology*, **74**, 796-804. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2018.08.038>
- [13] Hou, W., Chen, S., Zhu, C., *et al.* (2023) Associations between Smoke Exposure and Osteoporosis or Osteopenia in a US NHANES Population of Elderly Individuals. *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*, **14**, Article 1074574. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1074574>
- [14] Sørensen, L.T. (2012) Wound Healing and Infection in Surgery: The Pathophysiological Impact of Smoking, Smoking Cessation, and Nicotine Replacement Therapy: A Systematic Review. *Annals of Surgery*, **255**, 1069-1079. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31824f632d>
- [15] Wong, J., Lam, D.P., Abrishami, A., *et al.* (2012) Short-Term Preoperative Smoking Cessation and Postoperative Complications: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Canadian Journal of Anesthesia*, **59**, 268-279. <https://doi.org/10.1007/s12630-011-9652-x>
- [16] Yu, S.F., Cheng, J.S., Chen, Y.C., *et al.* (2019) Adherence to Anti-Osteoporosis Medication Associated with Lower Mortality Following Hip Fracture in Older Adults: A Nationwide Propensity Score-Matched Cohort Study. *BMC Geriatrics*, **19**, Article No. 290. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1278-9>
- [17] Cheng, J., Meng, S., Lee, J., *et al.* (2022) Effects of Walking and Sun Exposure on Bone Density and Balance in El-

- derly with Osteopenia. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, **40**, 528-534. <https://doi.org/10.1007/s00774-022-01317-7>
- [18] Pimentel, D.V., Suttikus, A., Vogel, M., *et al.* (2021) Effect of Physical Activity and BMI SDS on Bone Metabolism in Children and Adolescents. *Bone*, **153**, Article 116131. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2021.116131>
- [19] Oppl, B., Michitsch, G., Misof, B., *et al.* (2014) Low Bone Mineral Density and Fragility Fractures in Permanent Vegetative State Patients. *Journal of Bone and Mineral Research*, **29**, 1096-1100. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2122>
- [20] Okabe, R., Nakatsuka, K., Inaba, M., *et al.* (2001) Clinical Evaluation of the Elecsys Beta-CrossLaps Serum Assay, a New Assay for Degradation Products of Type I Collagen C-Telopeptides. *Clinical Chemistry*, **47**, 1410-1414. <https://doi.org/10.1093/clinchem/47.8.1410>
- [21] Zhou, J., Liu, B., Qin, M.Z., *et al.* (2020) Fall Prevention and Anti-Osteoporosis in Osteopenia Patients of 80 Years of Age and Older: A Randomized Controlled Study. *Orthopaedic Surgery*, **12**, 890-899. <https://doi.org/10.1111/os.12701>
- [22] Xu, Y., Shen, L., Liu, L., *et al.* (2022) Undercarboxylated Osteocalcin and Its Associations with Bone Mineral Density, Bone Turnover Markers, and Prevalence of Osteopenia and Osteoporosis in Chinese Population: A Cross-Sectional Study. *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*, **13**, Article 843912. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.843912>
- [23] Song, L. (2017) Calcium and Bone Metabolism Indices. In: *Advances in Clinical Chemistry*, Vol. 82, Elsevier, Amsterdam, 1-46. <https://doi.org/10.1016/bs.acc.2017.06.005>
- [24] König, D., Oesser, S., Scharla, S., *et al.* (2018) Specific Collagen Peptides Improve Bone Mineral Density and Bone Markers in Postmenopausal Women-A Randomized Controlled Study. *Nutrients*, **10**, Article 97. <https://doi.org/10.3390/nu10010097>
- [25] Gordon, D.J., Probstfield, J.L., Garrison, R.J., *et al.* (1989) High-Density Lipoprotein Cholesterol and Cardiovascular Disease. Four Prospective American Studies. *Circulation*, **79**, 8-15. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.79.1.8>
- [26] Zhang, Q., Zhou, J., Wang, Q., *et al.* (2020) Association between Bone Mineral Density and Lipid Profile in Chinese Women. *Clinical Interventions in Aging*, **15**, 1649-1664. <https://doi.org/10.2147/CIA.S266722>