

梯度提升机模型在非静脉曲张上消化道 出血后再出血中的预测价值*

吴江山, 黄兴蔚, 曾毅飞, 莫兰梅

(广西医科大学附属武鸣医院消化内科, 武鸣 530199)

摘要 **目的:**探讨梯度提升机(GBM)模型在预测非静脉曲张上消化道出血(NVUDB)患者再出血中的临床价值。**方法:**回顾性分析2020年10月至2021年12月本院收治的258例NVUDB患者的临床资料,并按照7:3比例将数据集随机分为训练集和验证集,分别用于构建GBM模型和验证模型的可靠性。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析评价模型性能,校准曲线评估模型预测概率与样本概率之间的一致性,决策曲线评估该模型的临床实用性。**结果:**NVUDB患者再出血发生率为20.9%。GBM算法模型中重要特征得分前5项为Rockall评分、入院时休克、D-二聚体水平、白蛋白水平、红细胞分布宽度。训练集曲线下面积为0.985(95% CI: 0.971~0.998),验证集为0.873(95% CI: 0.785~0.960)。训练集的预测准确率为92.2%,验证集的预测准确率为83.3%。校准曲线显示GBM模型预测值与实际观测值之间具有良好的一致性,模型能够较好地预测实际概率。临床决策曲线分析结果展示了模型具有良好的临床表现能力。**结论:**基于GBM算法模型可以较好地预测NVUDB患者再出血的风险因素,且具有较高的临床有效性。

关键词 机器学习;梯度提升机模型;非静脉曲张上消化道出血;再出血;决策曲线

中图分类号:R573.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-930X(2023)08-1334-08

DOI:10.16190/j.cnki.45-1211/r.2023.08.011

Value of gradient boosting machine model in predicting rebleeding after non-variceal upper digestive bleeding

Wu Jiangshan, Huang Xingwei, Zeng Yifei, Mo Lanmei. (Department of Gastroenterology, Wuming Hospital of Guangxi Medical University, Wuming 530199, China)

Abstract **Objective:** To explore the clinical value of gradient boosting machine (GBM) model in predicting rebleeding in patients with non-variceal upper digestive bleeding (NVUDB). **Methods:** Clinical data of 258 patients with NVUDB admitted to our hospital from October 2020 to December 2021 were retrospectively analyzed, and the data set was randomly divided into training set and validation set according to the ratio of 7 : 3, which were used to construct GBM model and verify the reliability of the model, respectively. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze and evaluate the performance of the model, the calibration curve was used to evaluate the consistency between the model prediction probability and the sample probability, and the decision curve was used to evaluate the clinical practicability of the model. **Results:** The incidence of rebleeding in NVUDB patients was 20.9%. The top five important feature scores in the GBM algorithm model were Rockall score, shock on admission, D-dimer level, albumin level, and red blood cell distribution width. The area under the curve (AUC) of the training set was 0.985 (95% CI: 0.971-0.998), and the validation set was 0.873 (95% CI: 0.785-0.960). The prediction accuracy of the training set was 92.2%, and the prediction accuracy of the validation set was 83.3%. The calibration curve showed that there was a good consistency between the predicted value of the GBM model and the actual observation value, and the model could predict the actual probability well. Decision curve analysis showed that the model had good clinical performance. **Conclusion:** The GBM algorithm model can better predict the risk factors of rebleeding in patients, and has high clinical effectiveness.

*基金项目:广西壮族自治区卫生健康委员会
自筹经费科研课题资助项目(No. Z20200077)
收稿日期:2023-03-01

Keywords machine learning; gradient boosting machine model; non-variceal upper digestive bleeding; rebleeding; decision curve

非静脉曲张性上消化道出血(nonvariceal upper digestive bleeding, NVUGIB)是一种严重的急性突发病,发病率及院内死亡率较高。内镜下介入治疗NVUGIB止血率高达80%~90%,但仍有7%~16%患者出现再次出血^[1-2]。医护工作者对消化道致命性再出血的认知具有滞后性,仅根据患者生命体征或临床症状变化判断是否再出血,时效性和有效性较差,患者表现异常时可能已经处于低血容量休克状态,死亡风险增加。因此有必要加强对NVUGIB患者止血后再出血风险的预测模型和相关机制研究,便于早期对存在高风险患者采取有效措施,降低再出血发生风险。近年来,机器学习模型因其卓越的预测性能在医学领域得到了广泛的发展和應用^[3-4]。它可以从复杂、非线性的数据中提取信息,通过科学算法建立模型,揭示大数据环境下因素与疾病之间隐藏的依赖关系,帮助临床医生更好地了解疾病进展^[5]。梯度提升机(gradient boosting machine, GBM)是其中一种迭代的机器学习算法,能够减少预测模型中的偏差。本研究基于常用的临床病理参数建立GBM模型,并探究该模型预测NVUGIB后再出血中的临床价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

回顾性分析2020年10月至2021年12月本院收治的258例NVUGIB患者的临床资料。病例纳入标准:(1)经内镜及相关实验室检查确诊为NVUGIB^[6];(2)年龄 ≥ 18 岁;(3)入院前3 d未使用影响胃酸分泌的各种药物,如奥美拉唑、西咪替丁等;(4)¹⁴C呼气试验阴性。排除标准:(1)长期使用阿司匹林或氯吡格雷,或近期服用肝素等抗血小板/抗凝药物;(2)合并有严重心脑血管、肺部相关疾病及肿瘤患者;(3)其他原因引起的非溃疡性上消化道出血;(4)患有消化道癌症的患者。

本研究结局是NVUGIB患者是否再出血,再出血定义为在液体复苏、质子泵抑制剂、纠正循环衰竭、内镜下止血等措施成功止血后,根据发病后7 d内再次出现吐血、便血和(或)黑便,胃管抽出物有较多新鲜血、伴有血流动力学不稳定或血红蛋白降低至 1.24 mmol/L ^[7]。

1.2 方法

1.2.1 数据收集 收集患者以下信息:(1)基本信息:年龄、性别、体质量指数、饮酒史、吸烟史、合并

症情况、有无既往消化道出血史、有无恶性肿瘤、入院时是否出血性休克(全身血压 $< 13.3 \text{ kPa}$,和(或)脉搏率 $> 100 \text{ 次/min}$)等;(2)入院时实验室检查结果:血尿素氮、血红蛋白、白蛋白、红细胞分布宽度(red blood cell distribution width, RDW)、血小板计数、D-二聚体、血细胞比容、凝血酶原时间;(3)出血病因学诊断:消化性溃疡伴出血、上消化道出血、胃溃疡伴出血、十二指肠溃疡伴出血等;(4)其他:内镜检查前Rockall评分评估患者病情危重程度。

1.2.2 数据清理和规范化 (1)数据检查和清理:对原始数据进行汇总和整理后,整合数值、时间、日期、全半角等显示格式,保持一致性,剔除无检测数据、无法分类或异常值的患者,检查重复性,删除重复数据;(2)数据标准化:对试验类型、试验项目名称、试验结果单位、试验参考值进行校准和规范化;(3)选择特征的确定及缺失值处理:剔除缺失率大于30%的检测数据,对于缺失率 $\leq 30\%$ 的,选择代表变量集中趋势的平均值替换填充法补充^[8]。

最终筛选出符合条件的患者共258例。采用R Studio软件将数据集按照7:3的比例随机分为训练集与验证集。两个数据集患者临床资料和实验室检查结果比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表1。

1.3 构建GBM模型与验证

使用R语言中的gbm包构建GBM模型。在gbm包中,采用的是决策树作为基学习器,重要的参数设置如下:函数的因变量(distribution)为二分类(bernoulli),迭代回归树的数量(n.trees)为2 000,学习速率(shrinkage)为0.01,交叉折叠验证(cv.folds=10)提取最适的回归树数目。分别采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线和校准曲线在训练集与验证集中验证模型的预测效能。

1.4 统计学方法

用SPSS 23.0统计软件进行数据分析。正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用 t 检验;非正态分布的计量资料用中位数(四分位数间距) $[M(P_{25} \sim P_{75})]$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney U 检验;计数资料以例数或百分率表示,率的比较采用 χ^2 检验。根据计算机生成的随机数,将70%数据做训练集(180例)用于构建模型,30%数据做验证集(78例)用于验证模型的可靠性。绘制ROC曲线,用于评估模型预测置信区间的能力,校

准曲线用于评估模型预测概率和样本概率之间的一致性,临床决策曲线用于评估该模型的临床实用性。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

表1 训练集与验证集患者的资料比较

变量	训练集($n=180$)	验证集($n=78$)	$\chi^2/t/Z$	P
年龄/岁, $M(P_{25}\sim P_{75})$	66.50(48.00~77.00)	68.50(53.00~76.00)	-0.596	0.551
性别(男/女), n	126/54	57/21	0.250	0.617
体质量指数/(kg/m^2), $\bar{x}\pm s$	21.84 $\pm$ 3.20	21.62 $\pm$ 3.28	0.494	0.621
饮酒史(无/有), n	141/39	61/17	0.001	0.982
吸烟史(无/有), n	151/29	67/11	0.168	0.682
既往消化道出血史(无/有), n	141/39	56/22	1.289	0.256
恶性肿瘤(无/有), n	173/7	77/1	0.516	0.473
入院时休克(是/否), n	24/156	6/72	1.685	0.194
血尿素氮/(mmol/L), $M(P_{25}\sim P_{75})$	8.66(4.67~14.57)	9.35(5.97~18.96)	-1.585	0.113
血红蛋白/(g/L), $M(P_{25}\sim P_{75})$	93.50(64.25~117.00)	88.00(64.75~121.00)	-0.140	0.889
白蛋白/(g/L), $M(P_{25}\sim P_{75})$	34.70(30.00~39.18)	33.55(28.00~37.23)	-1.330	0.184
RDW, $M(P_{25}\sim P_{75})$	42.60(39.43~46.78)	42.30(39.10~46.53)	-0.510	0.610
血小板计数($\times 10^9/\text{L}$), $M(P_{25}\sim P_{75})$	258.00(195.50~315.75)	234.00(191.75~329.75)	-0.464	0.643
D-二聚体/($\mu\text{g}/\text{mL}$), $M(P_{25}\sim P_{75})$	1.00(0.56~1.50)	1.200(0.97~1.53)	-1.692	0.091
血细胞比容, $M(P_{25}\sim P_{75})$	69.75(29.60~88.58)	68.80(36.33~90.60)	-0.481	0.630
凝血酶原时间/s, $M(P_{25}\sim P_{75})$	13.60(12.90~14.85)	13.80(12.80~16.18)	-0.458	0.647
Rockall评分/分, $M(P_{25}\sim P_{75})$	3.00(3.00~4.00)	3.00(3.00~4.00)	-1.413	0.158

2 结果

2.1 研究人群的临床参数

最终纳入了258例诊断为NVUDB的患者,其中男183例(70.9%),女75例(29.1%);中位年龄为67岁。NVUDB的首要病因为消化性溃疡,占60.9%,其余病因构成比从高到低依次为十二指肠溃疡(15.9%)、胃溃疡(9.3%)和胃炎(5.8%),见图1。

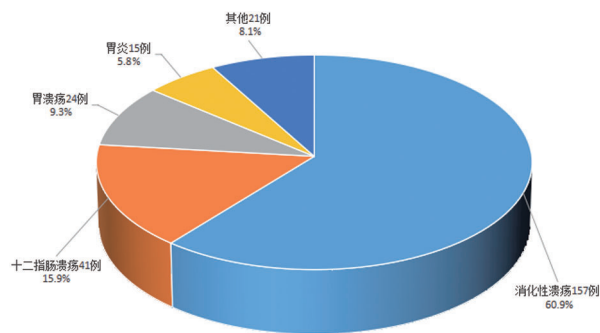


图1 非静脉曲张性上消化道出血的病因

2.2 与再出血相关的参数分析

258例患者中有54例(20.9%)患者出现再出血,以是否再出血分成非再出血组($n=204$)和再出血组($n=54$)。单变量分析显示,与再出血有统计学显著相关的临床和实验参数包括年龄、入院时出血性休克、血尿素氮、血红蛋白、白蛋白、RDW、血小板计数、D-二聚体、凝血酶原时间、Rockall评分(均 $P<0.05$),见表2。

2.3 GBM模型的建立与验证

将表2中有意义的变量集成GBM算法模型中,结果显示,前5个重要的变量排序分别为Rockall评分、入院时休克、D-二聚体水平、白蛋白水平、RDW,见图2。

ROC曲线显示,GBM模型对患者预后预测的曲线下面积(area under the curve, AUC),训练集为0.985(95% CI:0.971~0.998),验证集为0.873(95% CI:0.785~0.960),见图3A和图3B。训练集的预测准确率为92.2%,验证集的预测准确率为83.3%。校准曲线显示GBM模型预测值与实际观测值之间具有良好的一致性,模型能够较好地预测实际概率,见图3C、图3D。

表2 与再出血相关的参数分析

变量	非再出血组(<i>n</i> =204)	再出血组(<i>n</i> =54)	$\chi^2/t/Z$	<i>P</i>
年龄/岁, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	65.50(45.25~75.75)	71.00(58.00~80.00)	-3.056	0.002
性别(男/女), <i>n</i>	141/63	42/12	1.553	0.213
体质量指数/(kg/m ²), $\bar{x} \pm s$	21.80(19.43~24.00)	21.80(20.00~23.00)	-0.262	0.794
饮酒史(无/有), <i>n</i>	44/160	12/42	0.011	0.917
吸烟史(无/有), <i>n</i>	32/172	8/46	0.025	0.875
既往消化道出血史(无/有), <i>n</i>	44/160	17/37	2.324	0.127
恶性肿瘤(无/有), <i>n</i>	7/197	1/53	0.024	0.878
入院时休克(是/否), <i>n</i>	8/196	22/32	56.329	<0.001
血尿素氮/(mmol/L), <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	7.58(4.59~15.26)	11.06(7.58~16.30)	-3.128	0.002
血红蛋白/(g/L), <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	99.50(69.00~118.00)	69.00(49.00~85.00)	-3.685	<0.001
白蛋白/(g/L), <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	35.35(30.93~39.38)	31.20(24.70~35.30)	-4.360	<0.001
RDW, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	41.80(38.45~45.20)	46.20(41.20~54.10)	-4.704	<0.001
血小板计数/($\times 10^9/L$), <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	259.50(202.00~322.50)	220.00(153.00~291.00)	-2.919	<0.001
D-二聚体/($\mu g/mL$), <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	1.00(0.56~1.35)	1.44(1.20~1.54)	-3.841	<0.001
血细胞比容, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	69.35(31.75~89.60)	69.80(25.10~91.10)	-0.225	0.822
凝血酶原时间/s, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	13.50(12.80~14.58)	14.90(13.50~17.70)	-3.304	0.001
Rockall评分/分, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ ~ <i>P</i> ₇₅)	3.00(3.00~3.75)	4.00(4.00~4.00)	-7.377	<0.001

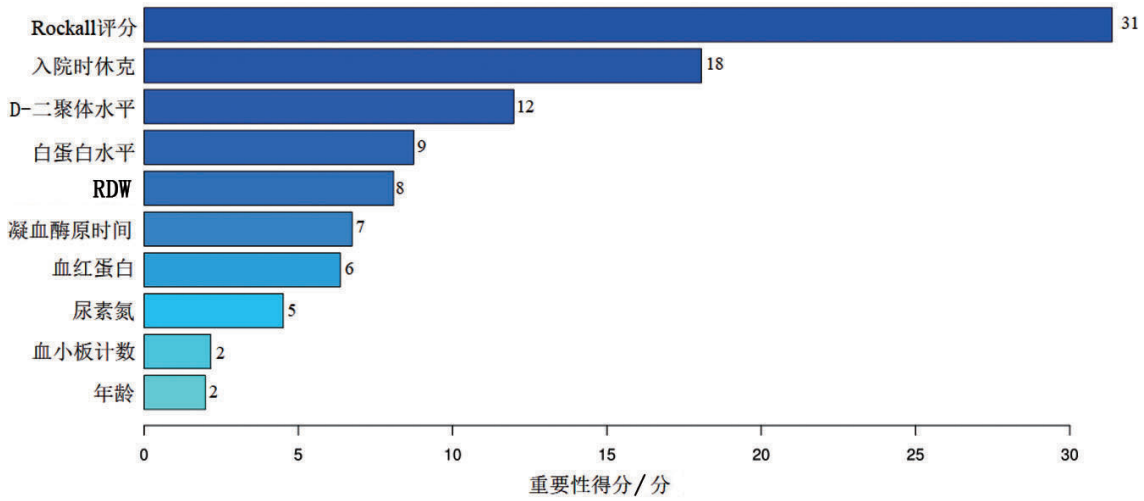
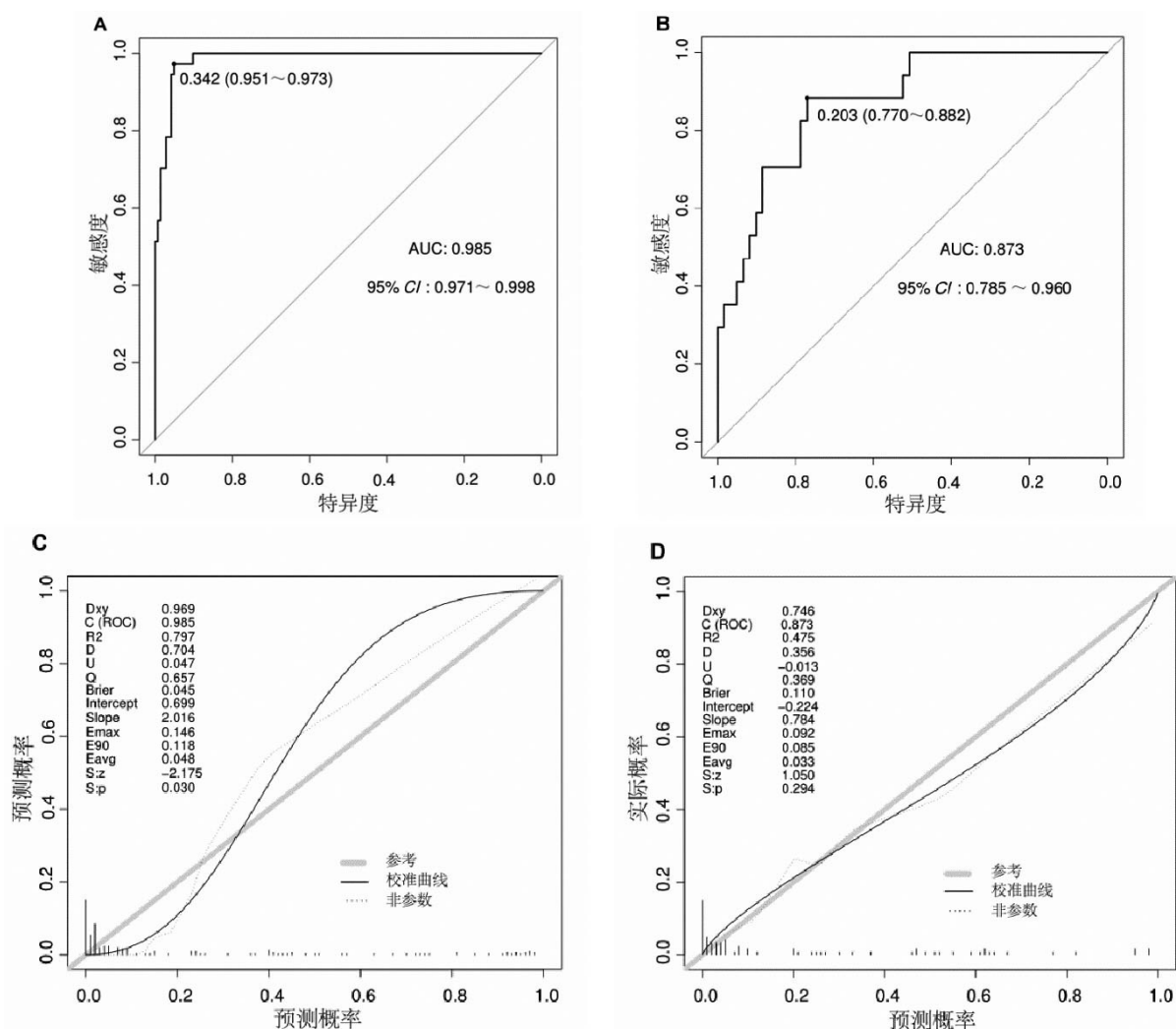


图2 GBM算法模型中NVUDB患者再出血的重要变量评分



A: 训练集ROC曲线; B: 验证集ROC曲线; C: 训练集校准曲线; D: 验证集校准曲线。

图3 GBM模型的ROC曲线及校准曲线验证

2.4 GBM模型的决策曲线分析

决策曲线分析显示,在一个很大的阈概率范围(0.003~0.989),NVUDB患者在本研究设计的GBM模型预测下有较好的净收益,说明该预测模型有较高的临床有效性,见图4。

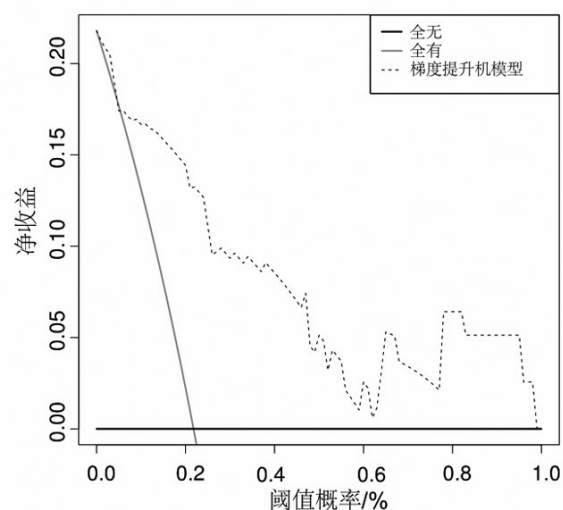


图4 GBM模型的决策曲线分析

3 讨 论

本研究中,NVUDB患者再出血率为20.9%,高于国外学者Tatlıparmak等^[9]报道土耳其地区上消化道出血患者再出血率14.7%、Rațiu等^[10]报道罗马地区急性上消化道出血患者再出血率的8.8%,低于我国学者范红星等^[7]报道的浙江地区急性非静脉曲张性上消化道出血患者再出血率25.4%。各研究之间再出血率的差异可能是内镜联合止血与药物联合治疗患者比例不同所致。其次可能是再出血的定义不同而导致的再出血率也不同。尽管由于质子泵抑制剂的有效抗分泌治疗的广泛使用以及现代内镜止血技术的实施,NVUDB发病率有所下降,但再出血仍然在死亡率中起重要作用^[11]。因而需加强对NVUDB患者再出血风险的预测和相关机制研究。

预测模型在临床研究中发挥着重要作用。一个准确的预测模型可以帮助临床医生对风险进行分层,从而确定可能从某种干预措施中受益的目标人群。传统的预测分析是通过许多假设的参数建模来执行,例如,广义线性回归模型要求基础数据具有线性和可加性。然而,这些假设参数在实际中可能不成立,特别是在大数据时代,电子数据库中记录大量的协变量或特征,这些协变量之间可能存在复杂的相互作用和高阶项,而传统的建模方法很难捕捉这样的高维关系^[12]。因此学者们发明了一些复杂的机器学习算法来处理这种情况。GBM便是其中一种机器学习算法,其能够递归地将弱学习器拟合到残差,从而随着迭代次数的逐渐增加而改善模型性能,可以自从复杂、非线性的数据中提取信息,通过科学建立模型,揭示大数据环境下因素与疾病之间隐藏的依赖关系,帮助临床医生更好地了解疾病^[13]。在临床文献中,GBM模型已成功用于预测心血管事件^[14-15]、脓毒症风险^[16]、腰椎间盘突出症经皮内镜切除术近期疗效^[17]、肝内胆管癌手术预后^[18]等。

在本研究中,Rockall评分和入院时休克是NVUDB患者再出血风险增加显著相关的参数。再出血随着Rockall评分分值升高而升高,这与文献^[19-20]报道结果相符。失血性休克导致的内脏低灌

注,微循环受损,均可引起缺血再灌注损伤,并降低胃黏膜内pH值。这些因素能够一起损伤黏膜表层的完整性,引起胃酸分泌过多,可能导致继发胃十二指肠侵蚀和溃疡,从而增加再出血风险。另外,本研究也显示与NVUDB患者再出血显著相关的实验室参数,包括D-二聚体水平、白蛋白水平、RDW。这与既往研究^[2,7,21-22]报道的部分指标相同。D-二聚体作为一种纤溶活性监测物,通常用于评估上消化道患者的总体纤溶状况。纤维性血栓的形成对止血非常重要,在持续性上消化道出血中,纤溶活性增加导致不稳定血栓形成,容易发生再出血^[21]。白蛋白帮助维持体内血浆胶体渗透压稳定,血浆白蛋白减少时,有效渗透压降低,容易使组织间滞留过多的水分而出现浮肿,浮肿严重时可出现胸水及腹水^[23],加重病情,进而可能导致再出血发生。然而目前关于白蛋白与NVUDB患者再出血的相关研究较少,因此需更多研究探究影响机制。RDW受促红细胞生成素异常产生和促红细胞生成素反应功能低下的影响^[24]。在病理条件下,包括氧化应激引起的细胞损伤、炎症反应、红细胞碎裂增加和营养缺乏,可导致生物和代谢失衡,从而导致细胞大小不均^[25]。这种现象常见于各种疾病,包括恶性肿瘤、心血管疾病、炎症、肝衰竭、肾衰竭和其他慢性疾病。上述事实是RDW升高和各种疾病不良结果之间强相关性的合理解释^[26]。考虑到上消化道出血是一种涉及血管中炎症和血栓形成作用的病理过程,其与RDW升高相关的可能机制可能是炎症细胞因子对红细胞成熟的抑制。

预测模型重要的是准确区分哪些高风险患者可能出现无法控制的出血,从而采取相应措施减少出血和死亡,哪些低风险患者可以通过密切和早期随访安全出院。本研究建立的GBM模型对NVUDB患者再出血风险预测显示出了较高的准确性,训练集AUC为0.985,验证集AUC为0.873,训练集的预测准确率为92.2%,验证集的预测准确率为83.3%。校准曲线显示GBM模型预测值与实际观测值之间具有良好的一致性,模型能够较好地预测实际概率,并通过决策曲线分析展示了模型具有良好的临床表现能力。因此,本研究建立的GBM模型具有较高的可靠性和临床实用性。

然而,本研究仍然有一些局限性:首先,这是一

项单中心回顾性的小样本研究,对于不同患者特征分布和不同机构的数据集,机器学习算法的性能可能会有所不同,因此,未来需要来自多个来源及更多患者来验证我们模型的稳健性和可重复性;其次,在纳入影响NVUDB患者再出血的可能因素中,医生没有登记或忽略登记部分信息,今后将基于该模型进行前瞻性验证,继续探索NVUDB患者再出血的关键危险因素,并进一步修改模型,以提高GBM预测模型的准确性和可靠性;最后,本研究对象较既往研究对象(如急性上消化道出血患者)有更高的再出血发生率,本研究包括来自三级医院急诊科、重症医学科的患者,因此,与较小的急诊部门或初级保健机构相比,研究对象患更严重的疾病。

综上,本研究使用GBM方法建立了NVUDB患者再出血的风险预测模型,并证明GBM模型具有较高的可靠性和临床实用性,该预测模型有助于识别高危NVUDB再出血患者,提供早期个体化诊断和治疗方案,并最终改善患者的预后,减轻家庭社会负担。

参考文献:

- [1] 《中华消化外科杂志》编辑委员会,《中华消化杂志》编辑委员会.急性非静脉曲张性上消化道出血多学科防治专家共识(2019版)[J].中华消化外科杂志,2019,18(12):1094-1100.
- EDITORIAL BORD OF CHINESE JOURNAL OF DIGESTIVE SURGERY, EDITORIAL BORD OF CHINESE JOURNAL OF DIGESTION. Expert consensus on multidisciplinary prevention and treatment of acute non-variceal upper gastrointestinal bleeding (2019 edition) [J]. Chinese journal of digestive surgery, 2019, 18(12): 1094-1100.
- [2] 刘伟,王贺,徐丽丽,等.RDW、PLT、HCT与急性非静脉曲张性上消化道出血危险程度的关系及联合预测预后的效能[J].河北医科大学学报,2022,43(2):145-149.
- LIU W, WANG H, XU L L, et al. The relationship between RDW, PLT, HCT and the risk degree of ANVUGIB and the effectiveness of their combination in predicting prognosis [J]. Journal of Hebei medical university, 2022, 43(2):145-149.
- [3] RAITA Y, GOTO T, FARIDI M K, et al. Emergency department triage prediction of clinical outcomes using machine learning models [J]. Crit care, 2019, 23(1):64.
- [4] SHI Y, MA L, CHEN X, et al. Prediction model of obstructive sleep apnea-related hypertension: Machine learning-based development and interpretation study [J]. Front cardiovasc med, 2022, 9: 1042996.
- [5] BIBAULT J E, CHANG D T, XING L. Development and validation of a model to predict survival in colorectal cancer using a gradient-boosted machine[J]. Gut,2021, 70(5): 884-889.
- [6] 中华医学会消化内镜学分会.急性非静脉曲张性上消化道出血诊治指南(2015年,南昌)[J].中华医学杂志,2016, 96:254-259.
- CHINESE MEDICAL ASSOCIATION DIGESTIVE ENDOSCOPY BRANCH. Guidelines for the diagnosis and treatment of acute non-variceal upper gastrointestinal bleeding (2015, Nanchang) [J]. Medical journal of china, 2016, 96:254-259.
- [7] 范红星,肖正武.急性非静脉曲张性上消化道出血患者再出血预测因子研究[J].世界华人消化杂志,2022,30(6): 280-286.
- FAN H X, XIAO Z W. Predictors of rebleeding in patients with acute non-variceal upper gastrointestinal bleeding [J]. World Chinese journal of digestology, 2022, 30(6): 280-286.
- [8] 高雅新,王彤,祁鸣,等.认知障碍患者背外侧前额叶功能连接与认知一步行能力的关系研究[J].中国康复医学杂志,2021,36(12):1487-1495.
- GAO Y X, WANG T, QI M, et al. Relationship between DLPFC functional connectivity and dual task-walking ability in patients with cognitive impairment [J].Chinese journal of rehabilitation medicine, 2021, 36(12):1487-1495.
- [9] TATLIPARMAK A C, DIKME Ö, DIKME Ö, et al. Platelet distribution width, and total protein levels as predictors of rebleeding in upper gastrointestinal bleeding [J]. PeerJ, 2022, 10: e14061.
- [10] RATIU I, LUPUSORU R, POPESCU A, et al. Acute gastrointestinal bleeding: A comparison between variceal and nonvariceal gastrointestinal bleeding [J]. Medicine (Baltimore), 2022, 101(45): e31543.
- [11] QUENTIN V, REMY A J, MACAIGNE G, et al. Prognostic factors associated with upper gastrointestinal bleeding based on the French multicenter SANGHRIA trial [J]. Endoscopy international open, 2021, 9(10): E1504-E1511.
- [12] ZHANG Z, ZHAO Y, CANES A, et al. Written on behalf

- of AME big-data clinical trial collaborative group. Predictive analytics with gradient boosting in clinical medicine [J]. *Annals of translational medicine*, 2019, 7(7): 152.
- [13] SCHWALBE N, WAHL B. Artificial intelligence and the future of global health [J]. *Lancet*, 2020, 395: 1579-1586.
- [14] ZHAO J, FENG Q, WU P, et al. Learning from longitudinal data in electronic health record and genetic data to improve cardiovascular event prediction [J]. *Scientific reports*, 2019, 9: 717.
- [15] WARD A, SARRAJU A, CHUNG S, et al. Machine learning and atherosclerotic cardiovascular disease risk prediction in a multi-ethnic population [J]. *NPJ Digital medicine*, 2020, 3: 125.
- [16] DELAHANTY R J, ALVAREZ J, FLYNN L M, et al. Development and Evaluation of a Machine Learning Model for the Early Identification of Patients at Risk for Sepsis [J]. *Annals of emergency medicine*, 2019, 73: 334-344.
- [17] 鲍军平,刘 磊,时 睿,等. 梯度提升机模型对腰椎间盘突出症经皮内镜切除术后近期疗效的预测作用[J]. *中华骨科杂志*, 2020, 40(19): 1327-1336.
- BAO J P, LIU L, SHI R, et al. Gradient boosting machine model in predicting the short-term clinical effects of PELD in treating lumbar disc herniation [J]. *Chinese journal of orthopaedics*, 2020, 40(19): 1327-1336.
- [18] 范 烨,季顾惟,许正刚,等. 梯度提升机模型在肝内胆管癌手术预后预测中应用价值研究[J]. *中国实用外科杂志*, 2022, 42(2): 172-178.
- FAN Y, JI G W, XU Z G, et al. Application value of gradient boosting machine model for predicting prognosis after resection of intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Chinese journal of practical surgery*, 2022, 42(2): 172-178.
- [19] LAZAR D C, URSONIU S, GOLDIS A. Predictors of rebleeding and in-hospital mortality in patients with nonvariceal upper digestive bleeding [J]. *World journal of clinical cases*, 2019, 7(18): 2687-2703.
- [20] WANG C Y, QIN J, WANG J, et al. Rockall score in predicting outcomes of elderly patients with acute upper gastrointestinal bleeding [J]. *World journal of gastroenterology*, 2013, 19: 3466-3472.
- [21] YUE W, LIU Y, JIANG W, et al. Prealbumin and D-dimer as prognostic indicators for rebleeding in patients with nonvariceal upper gastrointestinal bleeding [J]. *Digestive diseases and sciences*, 2021, 66(6): 1949-1956.
- [22] 逯 越,陈利红,程威娟. 探究消化内镜治疗非静脉曲张性上消化道出血后再出血的危险因素[J]. *辽宁医学杂志*, 2021, 35(5): 58-60.
- LU Y, CHEN L H, CHENG W J. To explore the risk factors of recurrent bleeding after non-varicose upper gastrointestinal bleeding treated with digestive endoscopy [J]. *Medical journal of Liaoning*, 2021, 35(5): 58-60.
- [23] 程文瑾. 肝硬化上消化道出血药物治疗失败及住院期间再出血的危险因素[D]. 济南: 山东大学, 2022.
- CHENG W J. Risk factors of drug treatment failure and rebleeding in liver cirrhosis patients with upper gastrointestinal bleeding [D]. Jinan: Shandong university, 2022.
- [24] AFSAR B, SAGLAM M, YUCETURK C, et al. The relationship between red cell distribution width with erythropoietin resistance in iron replete hemodialysis patients [J]. *European journal of internal medicine*, 2013, 24: e25-e29.
- [25] GOYAL H, LIPPI D, GJYMISHKA A, et al. Prognostic significance of red blood cell distribution width in gastrointestinal disorders [J]. *World journal of gastroenterology*, 2017, 23(27): 4879-4891.
- [26] SALVAGNO G L, SANCHIS-GOMAR F, PICANZA A, et al. Red blood cell distribution width: A simple parameter with multiple clinical applications [J]. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, 2015, 52(2): 86-105.
- 本文引用格式:
吴江山,黄兴蔚,曾毅飞,等. 梯度提升机模型在非静脉曲张上消化道出血后再出血中的预测价值[J]. *广西医科大学学报*, 2023, 40(8): 1334-1341. DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2023.08.011
- WU J S, HUANG X W, ZENG Y F, et al. Value of gradient boosting machine model in predicting rebleeding after non-variceal upper digestive bleeding [J]. *Journal of Guangxi medical university*, 2023, 40(8): 1334-1341. DOI: 10.16190/j.cnki.45-1211/r.2023.08.011