

DOI: 10.3969/j.issn.2096-6113.2023.01.017

引用格式:张涛,孔祥宇,李子聪,等.基于临床-影像学资料构建自发性脑出血血肿扩大预测模型[J].巴楚医学,2023,6(1):75-81.

# 基于临床-影像学资料构建自发性 脑出血血肿扩大预测模型

张涛 孔祥宇 李子聪 肖莉 钱志远

(苏州大学附属第二医院 神经外科, 江苏 苏州 215000)

**摘要:** **目的:**建立具有临床实用性的自发性脑出血血肿扩大(HE)的预测模型。 **方法:**回顾性分析2018年5月1日—2021年5月31日苏州大学附属第二医院283例自发性脑出血患者的临床及影像学资料。将单因素分析中有意义的变量( $P < 0.05$ )纳入到多因素 Logistic 分析中,采用逐步回归法进行分析,筛选出 HE 预测模型的独立危险因素,再运用 R 语言绘制列线图。然后再采用 Bootstrap 法对本研究的数据重复抽样 1 000 次进行内部验证。以受试者工作特征曲线、临床决策曲线及校准曲线评价模型的鉴别能力、临床实用性及可靠性。 **结果:**HE 模型纳入了红细胞分布宽度的标准差(RDW-SD)、初始血肿体积、漩涡征、岛征、混杂征。HE 模型的受试者工作特征曲线下面积(AUC)值为 0.867,灵敏度为 0.728,特异度为 0.876,约登指数为 0.605。内部验证提示该模型的 C-index 为 0.859,标准误差为 0.014。初步的外部验证提示 HE 模型均有良好的预测能力。 **结论:**基于临床-影像学资料,纳入 RDW-SD、初始血肿体积、漩涡征、岛征、混杂征构建的脑出血血肿扩大 HE 模型具有良好的预测效能。

**关键词:**脑出血; 血肿扩大; 预测模型

中图分类号: R743.34

文献标志码: A

文章编号: 2096-6113(2023)01-0075-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Establishment of Prediction Model for Hematoma Expansion in Spontaneous Intracerebral Hemorrhage Based on Clinical-Imaging Data

Zhang Tao Kong Xiangyu Li Zicong Xiao Li Qian Zhiyuan

(Department of Neurosurgery, The Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215000, China)

**Abstract Objective:** To establish a clinical practical prediction model for hematoma expansion (HE) in spontaneous intracerebral hemorrhage. **Methods:** The clinical and imaging data of 283 patients with spontaneous intracerebral hemorrhage from May 1, 2018 to May 31, 2021 in the Second Affiliated Hospital of Soochow University were retrospectively analyzed. Significant variables in univariate analysis ( $P < 0.05$ ) were included in multivariate logistic analysis, and stepwise regression was used to screen independent risk factors for prediction model of HE. R language was applied to draw Nomogram. Bootstrap method was used to repeat the sampling of the data in this study 1 000 times for internal verification. Receiver operating characteristic curve, clinical decision curve, and calibration curve were used to evaluate the discriminating

基金项目:2018年江苏省研究生培养创新工程研究生科研与实践创新计划(No:SJCX18\_0855);中核医疗2021年度“核医科技创新”项目(No: ZHYLZD2021006)

作者简介:张涛,男,硕士,医师,主要从事脑出血方面研究。E-mail: 2995673363@qq.com

通信作者:钱志远,男,博士,副教授、主任医师,主要从事脑出血、脑外伤、脑肿瘤方面研究。E-mail: 1243847947@qq.com

ability, clinical practicability and reliability of the model. **Results:** HE model incorporated standard deviation of red blood distribution width (RDW-SD), initial hematoma volume, vortex sign, island sign, and mixed sign. The area under receiver operating characteristic curve(AUC) value of the HE model was 0.867. The sensitivity and specificity were 0.728 and 0.876, respectively, with Youden index of 0.605. The internal verification showed that the C-index of the model was 0.859, and the standard error was 0.014. The preliminary external verification indicate that HE model had a good predictive ability. **Conclusion:** The HE model constructed based on clinical-imaging data, including RDW-SD, initial hematoma volume, vortex sign, island sign, and mixed sign, had a good predictive efficacy.

**Keywords** intracerebral hemorrhage; hematoma expansion; prediction model

自发性脑出血(spontaneous intracerebral hemorrhage, sICH)在西方国家中占有所有脑卒中类型的10%~15%,在亚洲国家中占18%~20%,而在我国占比更高,为19%~48%<sup>[1-2]</sup>。研究表明在脑出血发病初期,有很大一部分患者会在24 h内因持续或反复颅内出血而发生血肿扩大(hematoma expansion, HE),且HE与患者预后呈正相关<sup>[3]</sup>。目前,卫星征、岛征、混杂征、CT血管造影(computed tomography angiography, CTA)点征等影像学指标,以及红细胞分布宽度、是否服用抗凝药物等临床指标已被陆续发现可能与脑出血HE相关<sup>[4-6]</sup>。

现已有学者建立了自发性脑出血HE预测模型,比如NAG评分表、9分评分表以及BRAIN评分表等<sup>[7]</sup>。这些评分纳入了不同的预测指标,但某些预测指标较难获得,有些评分纳入的因素较为单一,不能全面反映患者的情况,而有些评分计算繁琐,这些均不利于临床医生对患者病情及预后情况的准确判断,缺乏一定的临床实用性。因此,本研究拟基于临床影像学资料构建具有临床实用性的自发性脑出血HE的预测模型,以期临床诊疗提供更多参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究共纳入283例自发性脑出血患者,平均年龄为61.55±14.98岁,男性193例(68.20%),女性90例(31.80%)。纳入标准:①诊断和治疗均符合《中国脑出血诊治指南(2014)》的标准<sup>[8]</sup>;②患者年龄≥18岁;③发病至首次CT时间≤24 h;④首次CT后,24 h内完成随访CT。排除标准:①因外伤性颅脑损伤、颅内动静脉畸形、颅内动脉瘤等引起的继发性脑出血以及原发性脑室出血、脑干出血;②无随访CT或完成随访CT前已行手术治疗;③CT的质量不佳或资料缺失。本研究经苏州大学附属第二医院伦理委员会审批。

### 1.2 临床资料

查阅苏州大学附属第二医院病历系统及影像系统,筛选出符合标准的自2018年5月1日—2021年5月31日首诊于苏州大学附属第二医院的所有自发性脑出血患者。

本研究收集患者的基本资料、临床资料以及影像学资料等。基本资料包括患者的性别、年龄、联系方式、家庭住址、身体质量指数(body mass index, BMI)等。临床基本资料包括发病到首次CT时间、入院时收缩压、舒张压、脉压差、既往史、格拉斯哥评分(Glasgow coma scale, GCS)、BRAIN评分、血红蛋白、红细胞分布宽度标准差(standard deviation of red blood distribution width, RDW-SD)、红细胞分布宽度变异系数(coefficient of variation of red blood cell distribution width, RDW-CV)、白细胞计数(white blood cell, WBC)、中性粒细胞计数等。

影像学资料来源于苏州大学附属第二医院影像资料库。由2位对临床资料不知情的神经外科医师独立评估患者影像学特征,如果两位医师对结果存在异议,可以经过讨论后得到一致的结论。本研究采用3D slicer软件(4.13.0版本)进行血肿体积、血肿内最小CT数值(hounsfield unit, HU)、最大HU值的测量。HE定义:随访CT与首次CT相比,血肿体积绝对值增加6 mL或较前增加33%<sup>[9]</sup>。

### 1.3 统计学方法

本研究采用SPSS 25.0、R 3.6.3、MedCalc 19.6.0软件对数据进行统计学分析,根据是否存在HE进行组间比较分析。对于连续变量,选择均数(标准差)或中位数(四分位间距)描述,采用 $t$ 检验、Mann-Whitney U检验进行单因素分析;对于分类变量,选择例数(百分比)描述,采用卡方检验、Fisher确切概率法进行单因素分析。将单因素分析中有意义的变量( $P < 0.05$ )纳入到多因素Logistic分析中,采用逐步回归法,筛选出HE预测模型的独立危险因素。运用R语言绘制列线图,采用Bootstrap法对本研究的数据

重复抽样 1 000 次进行内部验证。用受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC)、临床决策曲线 (decision curve analysis, DCA) 以及校准曲线来评价模型的鉴别能力和临床实用性,并用 Delong 检验方法对 HE 模型、BRAIN 评分的 ROC 面积进行比较。

## 2 结果

### 2.1 根据血肿是否扩大进行分组比较

本研究 283 例患者中 81 例患者发生了 HE, 202

例患者未发生 HE。与非 HE 组相比, HE 组患者年龄偏大, BRAIN 评分偏高, 而入院时 BMI 偏低, 发病到第一次 CT 时间更短, 基线 GCS 评分更低 (均  $P < 0.05$ ); 实验室检验结果提示 HE 组基线血红蛋白、中性粒细胞数更低, 而基线 RDW-SD、RDW-CV、D 二聚体、血钾更高 ( $P < 0.05$ ); 在影像学资料中 HE 组较非 HE 组 HU<sub>min</sub> 值更小, 而 HU 差值、初始血肿体积更大, 出现脑室受压、中线移位、出血部位在脑叶、非增强 CT 征象 (岛征、卫星征、混杂征、漩涡征、黑洞征) 的比例更高 (均  $P < 0.05$ ), 见表 1 和表 2。

表 1 血肿扩大组与血肿未扩大组患者基本临床资料的比较 [ $(\bar{x} \pm s)$ ,  $n(\%)$ ,  $M(P25, P75)$ ]

项目	总数 ( $n=283$ )	HE 组 ( $n=81$ )	非 HE 组 ( $n=202$ )	$t/\chi^2/Z$	$P$
基本资料					
年龄(岁)	61.55±14.98	64.35±14.79	60.43±14.96	1.989	0.047
男性	193(68.20)	62(76.54)	131(64.85)	3.644	0.056
BMI(kg/m <sup>2</sup> )				8.452	0.038
<18.5	23(8.13)	11(13.58)	12(5.94)		
18.5~25.0	148(52.30)	47(58.02)	101(50.00)		
25.0~30.0	93(32.86)	19(23.46)	74(36.63)		
≥30.0	19(6.71)	4(4.94)	15(7.43)		
临床特征					
基线 GCS 评分	12(10,15)	11(9,14)	13(10,15)	3.160	0.001
BRAIN 评分	8(5,11)	11(8,12)	7(5,10)	5.465	<0.001
发病到第一次 CT 时间(h)	3.00(2.00,6.00)	3.00(2.00,4.00)	4.00(2.00,6.00)	2.684	0.007
收缩压(mmHg)	159.61±24.02	161.41±25.58	158.90±23.40	0.794	0.428
舒张压(mmHg)	90.00(81.00,100.00)	90.00(78.00,100)	90.00(81.75,100)	0.289	0.773
血红蛋白(g/L)	142.00(129.00,150.00)	140.0(121.50,146.50)	142.00(129.80,152.00)	1.976	0.048
RDW-SD(%)	42.20(40.10,44.50)	43.50(41.00,46.90)	41.80(39.90,44.00)	3.774	<0.001
RDW-CV(%)	13.00(12.50,13.40)	13.10(12.70,13.50)	12.90(12.48,13.40)	2.008	0.045
WBC( $\times 10^9/L$ )	8.40(6.70,10.60)	7.70(6.05,10.55)	8.65(6.98,10.63)	1.925	0.054
中性粒细胞计数( $\times 10^9/L$ )	6.00(4.40,8.50)	5.00(3.70,8.55)	6.30(4.58,8.50)	2.064	0.039
淋巴细胞计数( $\times 10^9/L$ )	1.40(1.00,2.10)	1.40(0.80,2.10)	1.45(1.00,2.20)	1.304	0.192
血小板计数( $\times 10^9/L$ )	204.00(164.00,246.00)	200.00(150.50,243.00)	206.50(168.75,247.25)	1.739	0.082
纤维蛋白原(g/L)	2.82(2.41,3.40)	2.79(2.32,3.42)	2.86(2.44,3.39)	0.787	0.431
D 二聚体( $\mu g/L$ )	390.00(250.00,950.00)	510.00(285.00,1230.00)	355.00(240.00,815.00)	2.400	0.016
血钠(mmol/L)	139.19±3.24	138.63±3.42	139.41±3.14	1.854	0.065
血钾(mmol/L)	3.61(3.33,3.93)	3.73(3.45,4.06)	3.57(3.32,3.87)	2.197	0.028
血钙(mmol/L)	2.26(2.20,2.33)	2.26(2.19,2.33)	2.26(2.21,2.32)	0.078	0.938
既往史					
吸烟	62(21.91)	21(25.93)	41(20.30)	1.071	0.301
饮酒	53(18.73)	16(19.75)	37(18.32)	0.078	0.780
高血压	206(72.79)	57(70.37)	149(73.76)	0.336	0.562
糖尿病	46(16.25)	15(18.52)	31(15.35)	0.427	0.513
出血性卒中	16(5.65)	4(4.94)	12(5.94)	0.109	0.741
缺血性卒中	27(9.54)	9(11.11)	18(8.91)	0.324	0.569
抗凝药物	33(11.66)	14(17.28)	19(9.41)	3.483	0.062

注: HE: 血肿扩大; BMI: 身体质量指数; GCS: 格拉斯哥评分; RDW-SD: 红细胞分布宽度标准差; RDW-CV: 红细胞分布宽度变异系数; WBC: 白细胞。

表 2 血肿扩大组与血肿未扩大组患者影像学资料的比较 $[(\bar{x}\pm s), n(\%), M(P25, P75)]$

项目	总数 (n=283)	HE 组 (n=81)	非 HE 组 (n=202)	t/ $\chi^2$	P
影像学特征					
HUmax	80.13±5.99	80.10±6.00	80.14±6.00	0.051	0.960
HUmin	52.73±5.08	50.81±5.03	53.50±4.91	4.133	<0.001
HU 差值	27.00(22.00,32.00)	29.00(24.00,34.00)	26.00(22.00,31.00)	2.895	0.004
初始血肿体积(mL)	16(8,28)	30(18,52)	13(7,24)	6.838	<0.001
脑室受压	191(67.49)	65(80.25)	126(62.38)	8.416	0.004
中线移位	65(22.97)	36(44.44)	29(14.36)	29.583	<0.001
蛛网膜下腔出血	39(13.78)	14(17.28)	25(12.38)	1.172	0.279
脑室积血	88(31.10)	24(29.63)	64(31.68)	0.114	0.736
出血部位					
基底节区	200(70.67)	58(71.60)	142(70.30)	0.048	0.827
脑叶	68(24.03)	27(33.33)	41(20.30)	5.383	0.020
丘脑	38(13.43)	9(11.11)	29(14.36)	0.524	0.469
小脑	9(3.18)	1(1.24)	8(3.96)	—	0.454 <sup>a</sup>
非增强 CT 征象					
卫星征	103(36.40)	54(66.67)	49(24.26)	44.919	<0.001
岛征	54(19.08)	34(41.98)	20(9.90)	38.522	<0.001
漩涡征	82(28.98)	47(58.02)	35(17.33)	46.533	<0.001
黑洞征	24(8.48)	16(19.75)	8(3.96)	18.579	<0.001
液平征	11(3.89)	6(7.41)	5(2.48)	3.765	0.052
混杂征	104(36.75)	58(71.60)	46(22.77)	59.314	<0.001

注:HE:血肿扩大;HUmax:初始血肿内最大值;HUmin:初始血肿内最小值;HU 差值为 HUmax 减 HUmin 的值;<sup>a</sup>Fihser 确切概率法

### 2.2 多因素 Logistic 回归分析

为建立自发性脑出血 HE 模型,将单因素分析有意义的( $P<0.05$ )以及具有临床意义的变量纳入多因

素 Logistic 分析中。结果显示,RDW-SD 增大、初始血肿体积较大及伴有漩涡征、岛征、混杂征为血肿扩大的独立危险因素(均  $P<0.05$ ),见表 3。

表 3 HE 模型的多因素 Logistic 回归分析

预测因素	$\beta$	标准误	Wald	P	OR(95%CI)
RDW-SD	0.110	0.045	5.927	0.015	1.117(1.022~1.220)
初始血肿体积	0.037	0.010	12.740	<0.001	1.038(1.017~1.060)
漩涡征	1.289	0.358	12.973	<0.001	3.629(1.800~7.317)
岛征	1.071	0.416	6.636	0.010	2.918(1.292~6.591)
混杂征	1.325	0.352	14.212	<0.001	3.764(1.890~7.497)

注:HE:血肿扩大;RDW-SD:红细胞分布宽度标准差

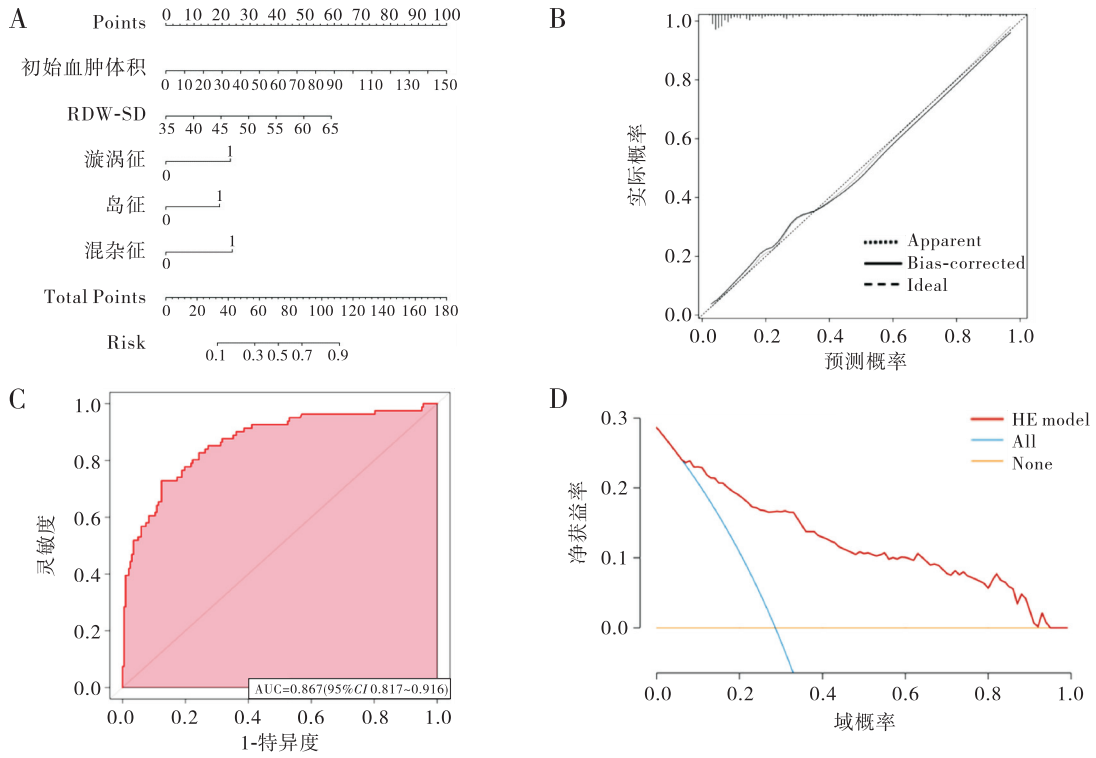
### 2.3 血肿扩大预测模型的建立与评价

预测自发性脑出血 HE 模型列线图标准曲线、ROC 曲线和临床决策曲线见图 1。HE 模型的 AUC 是 0.867,95%CI 为 0.817~0.916。Homser-Lemeshow 拟合优度为  $\chi^2=4.421, P=0.817$ ,校准曲线提示模型的预测概率与实际概率拟合优。临床决策曲线提示模型曲线远离极端值,具有良好临床实用性。

Bootstrap 法重复抽样 1 000 次,C-index 为 0.859 (95%CI:0.836~0.880),标准误为 0.014,模型区分度良好。

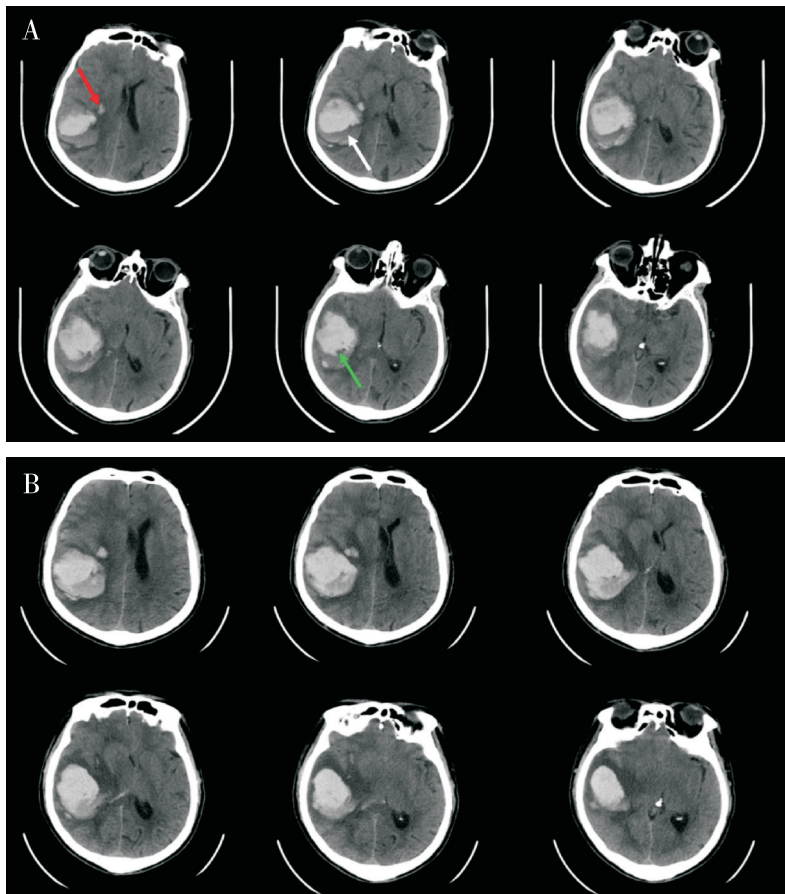
### 2.4 初步外部验证

本研究于 2021 年 6 月收集了两位自发性脑出血患者的资料,应用 HE 模型预测 HE 的风险,表现出良好的预测能力,见图 2 和图 3。



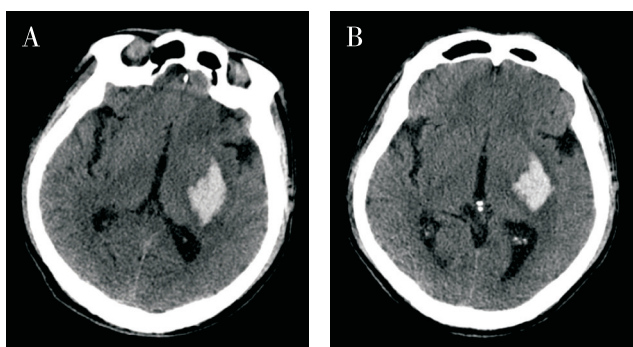
注: A: HE 模型的列线图; B: HE 模型的校准曲线; C: HE 模型的 ROC 曲线; D: HE 模型的临床决策曲线

图 1 自发性脑出血的 HE 模型



注:脑出血患者非增强 CT 平扫,男性,73 岁,RDW-SD 为 41.6%。A:患者发病 2 h 完成的首次 CT,初始血肿体积约为 48 mL,可见卫星征(红色箭头)、混杂征(白色箭头)及漩涡征(绿色箭头),HE 模型预测发生血肿扩大的风险约为 72%;B:患者发病 5 h 后复查 CT 血肿体积扩大

图 2 应用 HE 模型预测患者血肿扩大



注:脑出血患者非增强 CT 平扫,男性,59 岁,RDW-SD 为 44.0%。  
A:患者发病 3 h 完成的首次 CT,初始血肿体积约为 24 mL,血肿形态规则、密度均匀,HE 模型预测发生血肿扩大的风险约为 8%;  
B:患者发病 4 h 后复查 CT,血肿体积未增大

图 3 应用 HE 模型预测患者血肿未扩大

### 2.5 自发性脑出血血肿扩大的 HE 模型和 BRAIN 评分的比较

BRAIN 评分与 HE 模型相比,AUC 差值为 0.160,95% CI 为 0.095 ~ 0.224,标准误差为 0.033,AUC 差异具有统计学意义( $Z=4.841, P < 0.001$ ),而且 BRAIN 评分的灵敏度、特异度及约登指数低于 HE 模型,见表 4。

表 4 两种预测模型的预测价值

项目	AUC 值	灵敏度	特异度	约登指数
HE 模型	0.867	0.728	0.876	0.605
BRAIN 评分	0.707	0.531	0.802	0.333

## 3 讨论

目前有研究发现很大部分脑出血患者在发病后 24 h 内发生 HE<sup>[3]</sup>,故本研究的人组标准设为发病至首次 CT 24 h 内,且建立的模型适合目前我国国情,具有良好的普适性。

美国心脏协会/美国卒中协会发布的最新指南显示,多种影像学指标(包括非增强 CT 征象、CTA“点征”等)有助于预测 HE 的相关风险<sup>[3]</sup>。目前 CTA“点征”被证实是最可靠的预测自发性脑出血 HE 的影像学征象,但 CTA“点征”首先需要进行增强 CT,短时间内不易获取,所以将其纳入预测模型,并不具备时效性和临床实用性<sup>[10]</sup>,故本研究纳入了更容易获得的非增强 CT 征象。非增强 CT 血肿形态类征象包括岛征与卫星征,二者定义之间存在一定的重叠关系<sup>[5]</sup>。岛征最早是由 Li 等<sup>[11]</sup>于 2017 年提出,其研究共纳入了 252 例脑出血患者,显示岛征是预测脑出血 HE 的独立危险因素,岛征预测 HE 的灵敏度、特异度分别为 44.7%、98.2%。

Li 等<sup>[12]</sup>于 2016 年首先提出了黑洞征,其研究发现黑洞征是预测 HE 的独立危险因素,其灵敏度和特异度分别为 31.9%、94.1%。Ng 等<sup>[13]</sup>研究发现漩涡征与自发性脑出血 HE 相关,灵敏度与特异度分别是 67%、62%,并建议将漩涡征纳入脑出血的风险分层。一项 Meta 分析显示漩涡征可能有助于临床决策,但不应被视为 HE 的独立预测因素,其敏感度与特异度分别为 50.0%、77.0%,而且多项研究显示漩涡征与 HE 在单因素分析中相关,但在多因素分析中并没有显著相关<sup>[14-15]</sup>。目前看来漩涡征与 HE 的相关性尚有一定争议,仍需多中心大样本的研究来检验。Chen 等<sup>[16]</sup>验证了混杂征为预测 HE(随访 CT 时血肿体积增加较首次 CT >33% 或 >12.5 mL)的独立危险因素。

目前有 Meta 分析不建议将单个非增强 CT 征象用于预测 HE 的常规临床工作中,单一非增强 CT 征象进行单独预测存在一定的缺陷,比如漩涡征的低灵敏度等<sup>[17]</sup>。本研究纳入了岛征、漩涡征、混杂征,非增强 CT 征象未全部纳入模型中,一方面与征象本身的预测能力有关,另一方面考虑可能与 CT 的层厚相关,比如薄层 CT 更易发现小血肿等。

初始血肿体积是最经典的预测 HE 的因素。Broderick 等<sup>[18]</sup>研究发现初始血肿体积越大,发生 HE 的可能性越大。考虑可能是由于较大血管发生破裂,不易止血或者血压不稳定等,同时由于血肿本身压迫周围血管,导致受压血管变性后破裂,进而引起 HE<sup>[19]</sup>。RDW-SD 反映了红细胞体积的异质性程度。近年来我国学者在单中心研究中纳入 348 例脑出血患者,结果显示 RDW-SD 是预测 HE 的独立危险因素<sup>[20]</sup>。

本研究联合患者入院后初期的影像学资料和临床资料,建立的 HE 模型可以更好地帮助临床医生短时间内评估患者的病情,能够及时发现自发性脑出血的危重患者,积极采取精准医疗,尽可能降低患者的病死率及致残率,更科学合理地分配医疗资源。尽管构建的模型具有良好性能和便于操作等特点,但也存在一些局限性。首先,这是一项单中心的回顾性研究,样本量不足,外部验证不足。其次,在预测模型中,排除了未在 24 h 复查 CT 的患者,这与既往大部分的 HE 模型相似,不可避免地产生了偏倚。

### 参考文献:

[1] Hostettler I C, Seiffge D J, Werring D J. Intracerebral hemorrhage: an update on diagnosis and treatment[J].

- Expert Rev Neurother, 2019, 19(7): 679-694.
- [2] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑出血诊治指南(2019)[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(12): 994-1005.
- [3] Greenberg S M, Ziai W C, Cordonnier C, et al. 2022 guideline for the management of patients with spontaneous intracerebral hemorrhage: a guideline from the American heart association/American stroke association [J]. Stroke, 2022, 53(7): e282-e361.
- [4] Leira R, Dávalos A, Silva Y, et al. Early neurologic deterioration in intracerebral hemorrhage: predictors and associated factors[J]. Neurology, 2004, 63(3): 461-467.
- [5] Morotti A, Boulouis G, Dowlatshahi D, et al. Standards for detecting, interpreting, and reporting noncontrast computed tomographic markers of intracerebral hemorrhage expansion[J]. Ann Neurol, 2019, 86(4): 480-492.
- [6] Elkhatib T H M, Shehta N, Bessar A A. Hematoma expansion predictors: laboratory and radiological risk factors in patients with acute intracerebral hemorrhage: a prospective observational study[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(8): 2177-2186.
- [7] Sakuta K, Yaguchi H, Sato T, et al. The NAG scale can screen for hematoma expansion in acute intracerebral hemorrhage—a multi-institutional validation[J]. J Neurol Sci, 2020, 414: 116834.
- [8] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑出血诊治指南(2014)[J]. 中华神经科杂志, 2015, 48(6): 435-444.
- [9] Zhang X, Gao Q, Chen K, et al. A predictive nomogram for intracerebral hematoma expansion based on non-contrast computed tomography and clinical features [J]. Neuroradiology, 2022; 64(8):1547-1556.
- [10] Lei C Y, Geng J, Qi Z, et al. Different criteria for defining spot sign in intracerebral hemorrhage show different abilities to predict hematoma expansion and clinical outcomes: a systematic review and meta-analysis [J]. Neurosurg Rev, 2021, 44(6): 3059-3068.
- [11] Li Q, Liu Q J, Yang W S, et al. Island sign: an imaging predictor for early hematoma expansion and poor outcome in patients with intracerebral hemorrhage[J]. Stroke, 2017, 48(11): 3019-3025.
- [12] Li Q, Zhang G, Xiong X, et al. Black hole sign: novel imaging marker that predicts hematoma growth in patients with intracerebral hemorrhage[J]. Stroke, 2016, 47(7): 1777-1781.
- [13] Ng D, Churilov L, Mitchell P, et al. The CT swirl sign is associated with hematoma expansion in intracerebral hemorrhage[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(2): 232-237.
- [14] Amoo M, Henry J, Alabi P O, et al. The ‘swirl sign’ as a marker for haematoma expansion and outcome in intra-cranial haemorrhage: a meta-analysis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2021, 87: 103-111.
- [15] Xiong X, Li Q, Yang W S, et al. Comparison of swirl sign and black hole sign in predicting early hematoma growth in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage[J]. Med Sci Monit, 2018, 24: 567-573.
- [16] Chen M H, Li Z, Ding J P, et al. Comparison of common methods for precision volume measurement of hematoma[J]. Comput Math Methods Med, 2020, 2020: 6930836.
- [17] Zhang D F, Chen J G, Xue Q, et al. Heterogeneity signs on noncontrast computed tomography predict hematoma expansion after intracerebral hemorrhage: a meta-analysis [J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 6038193.
- [18] Broderick J P, Diringer M N, Hill M D, et al. Determinants of intracerebral hemorrhage growth: an exploratory analysis[J]. Stroke, 2007, 38(3): 1072-1075.
- [19] Huang Y W, Zhang Q, Yang M F. A reliable grading system for prediction of hematoma expansion in intracerebral hemorrhage in the basal ganglia [J]. Biosci Trends, 2018, 12(2): 193-200.
- [20] 王业青, 时代, 陆宽, 等. 预测脑出血血肿扩大的诺模图模型建立与多角度评价[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(31): 2471-2477.

[收稿日期 2022-06-24]