

动脉瘤性蛛网膜下腔出血并发急性脑积水的危险因素分析及预测模型构建



张 龙¹, 揣瑞宇¹, 王桂林¹, 田 宇², 杨大为¹

1. 秦皇岛市第一医院神经外科一病区 (河北秦皇岛 066000)
2. 秦皇岛市第一医院手足显微修复重建外科 (河北秦皇岛 066000)

【摘要】目的 评估动脉瘤性蛛网膜下腔出血 (aneurysmal subarachnoid hemorrhage, aSAH) 并发急性脑积水 (acute hydrocephalus, AHC) 的危险因素, 并构建预测模型。**方法** 回顾性分析 2015 年 1 月至 2024 年 1 月秦皇岛市第一医院神经外科收治的 aSAH 患者的临床资料。按照 7:3 比例, 将 aSAH 患者随机分为训练集和验证集, 根据是否发生 AHC 分为 AHC 组和非 AHC 组, 训练集用于构建 AHC 风险预测模型, 验证集用于验证 AHC 风险预测模型, 采用受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC) 及其曲线下面积 (area under curve, AUC)、校准曲线和决策曲线验证风险预测模型的可靠性和稳定性。**结果** 共纳入 1 062 例 aSAH 患者, 其中 324 例患者发生 AHC, 发生率为 30.51%。训练集、验证集分别有患者 744、318 例。多因素 Logistic 回归显示年龄 ≥ 60 岁 [OR=3.067, 95%CI (1.710, 5.499)]、破入脑室 [OR=7.039, 95%CI (3.792, 13.068)]、Fisher 分级为 IV 级 [OR=3.371, 95%CI (1.335, 8.514)]、Hunt-Hess 分级为 IV 级 [OR=6.198, 95%CI (2.218, 17.324)] 和高水平神经元特异性烯醇化酶 [OR=1.746, 95%CI (1.581, 1.928)] 是 aSAH 患者发生 AHC 的独立危险因素 ($P < 0.05$), 而动脉瘤位于前循环 [OR=0.397, 95%CI (0.199, 0.790)] 是 aSAH 患者发生 AHC 的独立保护因素 ($P < 0.05$)。训练集和验证集的 AUC (95%CI) 分别为 0.950 (0.932, 0.967) 和 0.969 (0.955, 0.982); 校准曲线显示“预测 AHC 概率”和“实际 AHC 概率”吻合; 决策曲线均提示 AHC 风险预测模型临床净获益高于“全部”临床净获益。**结论** 临床工作中应重点关注年龄 ≥ 60 岁、破入脑室、Fisher 分级与 Hunt-Hess 分级为 IV 级和高水平神经元特异性烯醇化酶 aSAH 患者 AHC 的发生风险, 本研究构建的 AHC 预测模型可为早期识别 AHC 提供便捷工具。

【关键词】 动脉瘤性蛛网膜下腔出血; 脑积水; 破入脑室; 神经元特异性烯醇化酶; 危险因素; 预测模型

【中图分类号】 R 742.7 **【文献标识码】** A

Risk factor analysis and prediction model construction of aneurysmal subarachnoid hemorrhage complicated by acute hydrocephalus

ZHANG Long¹, CHUAI Ruiyu¹, WANG Guilin¹, TIAN Yu², YANG Dawei¹

1. Department of Neurosurgery Ward. 1, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China

2. Hand and Foot Display Surgery, First Hospital of Qinhuangdao, Qinhuangdao 066000, Hebei

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202406077

基金项目: 秦皇岛市科学技术研究与发展计划 (202201B030)

通信作者: 杨大为, 主任医师, Email: yang_dw@126.com

Province, China

Corresponding author: YANG Dawei, Email: yang_dw@126.com

【Abstract】Objective To evaluate the risk factors for the development of acute hydrocephalus (AHC) after aneurysmal subarachnoid hemorrhage (aSAH) and to construct a prediction model. **Methods** The clinical data of patients with aSAH treated in the department of neurosurgery in the First Hospital of Qinhuangdao from January 2015 to January 2024 were retrospectively analyzed. The patients were randomly divided into the training set and the validation set in a 7:3 ratio and were also divided into the AHC group and non-AHC group according to whether they developed AHC or not. The training set was used to construct an AHC risk prediction model, while the validation set was used to validate the AHC risk prediction model. The reliability and stability of the risk prediction model were verified by the receiver operating characteristic curve (ROC), its area under the curve (AUC), calibration curve, and decision curve. **Results** A total of 1,062 patients with aSAH were included, among whom 324 patients developed AHC, with an incidence rate of 30.51%. The training set and validation set had 744 and 318 patients, respectively. Multivariate Logistic regression showed that age ≥ 60 years [OR=3.067, 95%CI (1.710, 5.499)], entering the ventricles [OR=7.039, 95%CI (3.792, 13.068)], Fisher grade IV [OR=3.371, 95%CI (1.335, 8.514)], Hunt-Hess grade IV [OR=6.198, 95%CI (2.218, 17.324)] and high level of neuron-specific enolase [OR=1.746, 95%CI (1.581, 1.928)] were independent risk factors for aSAH patients developing AHC ($P < 0.05$), while the aneurysm located at anterior circulation [OR=0.397, 95%CI (0.199, 0.790)] was an independent protective factor ($P < 0.05$). The AUC (95%CI) for the training set and validation set were 0.950 (0.932, 0.967) and 0.969 (0.955, 0.982), respectively; the calibration curve showed that the predicted AHC probability and actual AHC probability were consistent; the decision curves both indicated that the AHC risk prediction model had a higher net clinical benefit than the all net clinical benefit. **Conclusion** Clinical attention should be focused on patients with aSAH aged 60 years or older, entering the ventricles, Fisher grade IV, Hunt-Hess grade IV, and high level of neuron-specific enolase, and the AHC prediction model constructed in this study can provide a convenient tool for early identification of AHC.

【Keywords】 Aneurysmal subarachnoid hemorrhage; Hydrocephalus; Ventricular rupture; Neuron specific enolase; Risk factors; Prediction model

动脉瘤性蛛网膜下腔出血 (aneurysmal subarachnoid hemorrhage, aSAH) 是临床最常见的神经系统急症之一, 约 5% 脑卒中患者为 aSAH^[1], 其致残率和病死率极高^[2-3], 整体死亡率约 33%^[4], 且 1/3 aSAH 幸存者伴有终身残疾^[5]。脑积水 (hydrocephalus, HC) 是 aSAH 的常见严重并发症, 而急性脑积水 (acute hydrocephalus, AHC) 在 aSAH 患者中的发生率为 20%~63%, 且与脑室积血厚度相关^[6]。AHC 不仅会损害 aSAH 患者的早期神经功能, 恶化临床症状, 还会损害 aSAH 术后恢复期患者的神经功能^[7]。因此, 早期识别 aSAH 发生 AHC 的危险因素, 并制定相应临

床诊疗措施, 对降低 AHC 发生率、改善 aSAH 患者预后及降低死亡率具有重要意义。

既往研究显示蛛网膜下腔出血特征 (Hunt-Hess 分级、改良 Fisher 分级)、手术方法 (去骨瓣减压术) 等是 aSAH 患者发生 HC 的独立危险因素^[8-9]。然而, 单一危险因素识别 aSAH 发生 AHC 的预测能力有限, 限制了其临床的有效使用。随着分析方法不断发展, 基于多种危险因素建立的机器学习模型在临床上应用愈加广泛, 如创伤性蛛网膜下腔出血并发 HC 的预测模型^[10]。然而, 由于创伤性蛛网膜下腔出血和 aSAH 发病原因不同, 因此创伤性蛛网膜下腔出血并发 HC 预测模

型并不适用于 aSAH。此外，部分预测模型研究^[11]存在样本量小，模型稳定性待验证等较多的局限性，无法完全满足临床实践需求。综上，本研究通过丰富样本量进一步探索 aSAH 并发 AHC 的危险因素，并构建预测模型，为临床诊疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2015 年 1 月至 2024 年 1 月秦皇岛市第一医院神经外科收治的 aSAH 患者作为研究对象。纳入标准：①年龄 ≥ 18 岁；②根据《中国动脉瘤性蛛网膜下腔出血诊疗指南》^[12]，头颅数字减影血管造影成像或 CT 血管造影明确诊断为 aSAH；③存活时间 > 28 d；④临床资料缺失值 $\leq 10\%$ 。排除标准：①存在严重肝功能、肾功能和凝血功能障碍者；②既往或入院时诊断 HC；③合并颅内血管畸形、颅内肿瘤破裂出血、烟雾病者；④合并颅内肿瘤或恶性肿瘤者。本研究经秦皇岛市第一医院医学伦理委员会批准（批号：2024KL-018），并豁免知情同意书。

1.2 诊断及分组

根据《中国脑积水规范化治疗专家共识（2013 版）》^[13] 诊疗标准进行诊断，从入院开始，根据 aSAH 患者 3 d 内是否发生 AHC，分为 AHC 组和非 AHC 组。

1.3 资料收集

所有资料均通过临床电子病例系统回顾性收集。根据既往文献报道并结合临床实践经验，收集 aSAH 患者发生 AHC 的可能影响因素资料。包括：①人口学特征：年龄和性别；②既往史：吸烟史、饮酒史和基础疾病史（高血压和糖尿病）；

③影像学资料：出血厚度、是否破入脑室、是否合并脑内血肿或水肿、动脉瘤位置、动脉瘤个数、动脉瘤大小等；④蛛网膜下腔出血特征（Hunt-Hess 分级、Fisher 分级）；⑤高迁移率族蛋白 B1（high mobility group box-1 protein, HMGB1）、神经元特异性烯醇化酶（neuron specific enolase, NSE）、红细胞计数（red blood cell, RBC）。

1.4 统计学分析

使用 SPSS 23.0 和 R 3.4.1 软件进行统计学分析。计量资料以均数和标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，计数资料以例数和百分比（ $n, \%$ ）表示。根据 7:3 比例，将 aSAH 患者随机分为训练集和验证集，分别用于构建和验证风险预测模型。在训练集中，使用 t 检验、卡方检验或 Fisher's 精确检验比较 AHC 组和非 AHC 组临床资料的差异性，将具有统计学意义的变量纳入逐步多因素 Logistic 回归，构建 AHC 风险预测模型。训练集和验证集中采用受试者工作特征曲线（receiver operating characteristic curve, ROC）及其曲线下面积（area under curve, AUC）、校准曲线和决策曲线评估 AHC 风险预测模型的预测效能、准确度和临床适用性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

共纳入 1 062 例 aSAH 患者，其中 324 例发生 AHC，发生率为 30.51%。训练集 744 例（225 例发生 AHC）、验证集 318 例（99 例发生 AHC）。单因素分析显示训练集和验证集临床资料差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ），两组具有可比性（表 1）。

表 1 训练集和验证集临床资料比较（ $n, \%$ ）

Table 1. Comparison of the clinical data between the training group and the validation groups ($n, \%$)

临床资料	训练集 ($n=744$)	验证集 ($n=318$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)			0.001	0.969
<60	357 (47.98)	153 (48.11)		
≥ 60	387 (52.02)	165 (51.89)		
性别			<0.001	0.990
男性	367 (49.33)	157 (49.37)		
女性	377 (50.67)	161 (50.63)		
吸烟史			0.001	0.974
是	443 (59.54)	189 (59.43)		
否	301 (40.46)	129 (40.57)		

续表1

临床资料	训练集 (n=744)	验证集 (n=318)	t/χ^2 值	P值
饮酒史			0.001	0.969
是	467 (62.77)	200 (62.89)		
否	277 (37.23)	118 (37.11)		
高血压			<0.001	0.987
是	402 (54.03)	172 (54.09)		
否	342 (45.97)	146 (45.91)		
糖尿病			0.003	0.957
是	144 (19.35)	62 (19.50)		
否	600 (80.65)	256 (80.50)		
破入脑室			<0.001	0.993
是	412 (55.38)	176 (55.35)		
否	332 (44.62)	142 (44.65)		
脑内血肿			0.001	0.973
是	436 (58.60)	186 (58.49)		
否	308 (41.40)	132 (41.51)		
动脉瘤大小 (mm)*	5.95 ± 1.01	5.98 ± 1.03	-0.345	0.730
动脉瘤个数			0.007	0.932
单发	650 (87.37)	278 (87.42)		
多发	94 (12.63)	40 (12.58)		
动脉瘤位置			<0.001	0.989
前循环	660 (88.71)	282 (88.68)		
后循环	84 (11.29)	36 (11.32)		
Fisher分级			0.002	0.972
I级	86 (11.56)	37 (11.64)		
II级	229 (30.78)	98 (30.82)		
III级	197 (26.48)	84 (26.42)		
IV级	232 (31.18)	99 (31.13)		
Hunt-Hess分级			0.008	0.953
I级	62 (8.33)	27 (8.49)		
II级	232 (31.18)	99 (31.13)		
III级	180 (24.19)	77 (24.21)		
IV级	270 (36.29)	115 (36.16)		
HMGB1 (ug/L)*	53.36 ± 15.76	53.09 ± 15.63	0.256	0.798
NSE (u/mL)*	8.06 ± 3.26	8.10 ± 3.27	-0.173	0.862
RBC (10 ⁹ /L)*	12.05 ± 2.96	12.06 ± 2.93	-0.062	0.951
AHC	225 (30.24)	99 (31.13)	0.083	0.773

注: *计量资料以均数和标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示; HMGB1. 高迁移率族蛋白B1; NSE. 神经元特异性烯醇化酶; RBC. 红细胞计数; AHC. 急性脑积水。

2.2 训练集单因素分析

训练集单因素分析显示, AHC 组和非 AHC 组在年龄、糖尿病、破入脑室、脑内血肿、动脉瘤大小、动脉瘤位置、Fisher 分级、Hunt-Hess

分级、HMGB1、NSE 和 RBC 方面差异存在统计学差异 ($P < 0.05$), 而在性别、吸烟史、饮酒史、高血压和动脉瘤个数方面差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 详见表 2。

表2 训练集临床资料单因素分析 (n, %)
Table 2. Univariate analysis of the clinical data in the training group (n, %)

临床资料	AHC组 (n=225)	非AHC组 (n=519)	t/χ^2 值	P值
年龄 (岁)			111.071	<0.001
<60	42 (18.67)	315 (60.69)		
≥60	183 (81.33)	204 (39.31)		
性别			0.231	0.631
男性	114 (50.67)	253 (48.75)		
女性	111 (49.33)	266 (51.25)		
吸烟史			1.705	0.192
是	142 (63.11)	301 (58.00)		
否	83 (36.89)	218 (42.00)		
饮酒史			1.646	0.200
是	149 (66.22)	318 (61.27)		
否	76 (33.78)	201 (38.73)		
高血压			2.789	0.095
是	132 (58.67)	270 (52.02)		
否	93 (41.33)	249 (47.98)		
糖尿病			15.444	<0.001
是	63 (28.00)	81 (15.61)		
否	162 (72.00)	438 (84.39)		
破入脑室			150.507	<0.001
是	201 (89.33)	211 (40.66)		
否	24 (10.67)	308 (59.34)		
脑内血肿			19.352	<0.001
是	159 (70.67)	277 (53.37)		
否	66 (29.33)	242 (46.63)		
动脉瘤大小 (mm) *	7.43 ± 0.51	5.32 ± 0.08	90.662	<0.001
动脉瘤个数			1.280	0.258
单发	201 (89.33)	449 (86.51)		
多发	24 (10.67)	70 (13.49)		
动脉瘤位置			19.698	<0.001
前循环	182 (80.89)	478 (92.10)		
后循环	43 (19.11)	41 (7.90)		
Fisher分级			43.385	<0.001
I级	17 (7.56)	69 (13.29)		
II级	42 (18.67)	187 (36.03)		
III级	62 (27.56)	135 (26.01)		
IV级	104 (46.22)	128 (24.66)		
Hunt-Hess分级			51.820	<0.001
I级	10 (4.44)	52 (10.02)		
II级	35 (15.56)	197 (37.96)		
III级	69 (30.67)	111 (21.39)		
IV级	111 (49.33)	159 (30.64)		
HMGB1 (ug/L) *	76.12 ± 8.75	44.28 ± 6.33	55.810	<0.001
NSE (u/mL) *	12.61 ± 1.24	5.98 ± 0.92	80.694	<0.001
RBC (10 ⁹ /L) *	15.60 ± 1.91	10.44 ± 1.37	41.652	<0.001

注: *计量资料以均数和标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。

2.3 训练组多因素Logistic回归分析

以是否发生 AHC 为因变量, 将训练集单因素分析中具有统计学意义的变量为自变量进行多因素 Logistic 回归, 变量赋值情况详见表 3。结果显示年龄 ≥ 60 岁 [OR=3.067, 95%CI (1.710, 5.499)]、破入脑室 [OR=7.039, 95%CI (3.792, 13.068)]、Fisher 分级为 IV 级 [OR=3.371, 95%CI (1.335, 8.514)]、Hunt-Hess 分级为 IV 级 [OR=6.198, 95%CI (2.218, 17.324)] 和高 NSE 水平 [OR=1.746, 95%CI (1.581, 1.928)] 是 aSAH 患者发生 AHC 的危险因素 ($P < 0.05$), 而动脉瘤位于前循环 [OR=0.397, 95%CI (0.199, 0.790)] 是 aSAH 患者发生 AHC 的保护因素 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.4 风险预测模型构建、评估与验证

基于逐步 Logistic 回归分析结果, 构建 aSAH 患者并发 AHC 风险预测模型列线图 (图 1)。ROC 分析显示在训练集和验证集均展现出较高的预测效能, 其 AUC (95%CI) 分别为 0.950 (0.932, 0.967) 和 0.969 (0.955, 0.982) (图 2)。在训练集中, “预测 AHC 概率” 和 “实际 AHC 概率” 高度吻合 (图 3-A), 而验证组中, “预测 AHC 概率” 和 “实际 AHC 概率” 基本吻合 (图 3-B)。

表3 自变量赋值情况

Table 3. Assignment of Independent variables

变量	赋值方式			
	0	1	2	3
年龄	< 60 岁	≥ 60 岁		
糖尿病	否	是		
破入脑室	否	是		
脑内血肿	否	是		
动脉瘤位置	后循环	前循环		
Fisher 分级	I 级	II 级	III 级	IV 级
Hunt-Hess 分级	I 级	II 级	III 级	IV 级
动脉瘤大小	原值代入			
HMGB1	原值代入			
NSE	原值代入			
RBC	原值代入			

Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验显示训练组和验证组的 χ^2 分别为 22.465 ($P=0.223$) 和 16.707 ($P=0.463$)。此外, 训练集和验证集中, 决策曲线均提示阈值设置在一定范围时, 决策曲线位于 All 线和 None 线上方, 在该范围内模型具有临床实用性 (图 4)。

表4 aSAH患者发生AHC的逐步多因素Logistic回归分析

Table 4. Stepwise multiple-factor Logistic regression analysis of AHC in aSAH patients

变量	β 值	Wald χ^2 值	OR (95%CI)	P值
年龄 (≥ 60 岁)	1.121	14.147	3.067 (1.710, 5.499)	<0.001
破入脑室 (是)	1.952	38.233	7.039 (3.792, 13.068)	<0.001
动脉瘤位置 (前循环)	-0.925	6.921	0.397 (0.199, 0.790)	0.009
Fisher 分级		21.554		<0.001
I 级			Ref.	
II 级	-0.481	1.018	0.618 (0.243, 1.574)	0.313
III 级	0.655	2.192	1.926 (0.809, 4.586)	0.139
IV 级	1.215	6.607	3.371 (1.335, 8.514)	0.010
Hunt-Hess 分级		16.121		0.001
I 级			Ref.	
II 级	0.787	2.281	2.197 (0.791, 6.099)	0.131
III 级	0.743	2.229	2.103 (0.793, 5.579)	0.135
IV 级	1.824	12.101	6.198 (2.218, 17.324)	0.001
NSE	0.557	121.619	1.746 (1.581, 1.928)	<0.001

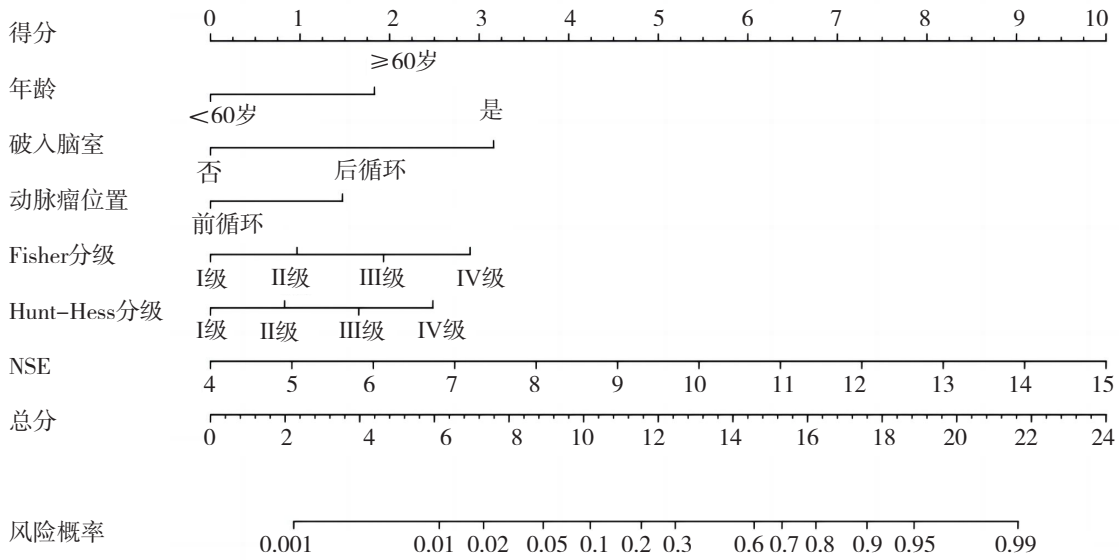


图1 AHC风险预测模型列线图

Figure 1. Nomogram of the AHC risk prediction model

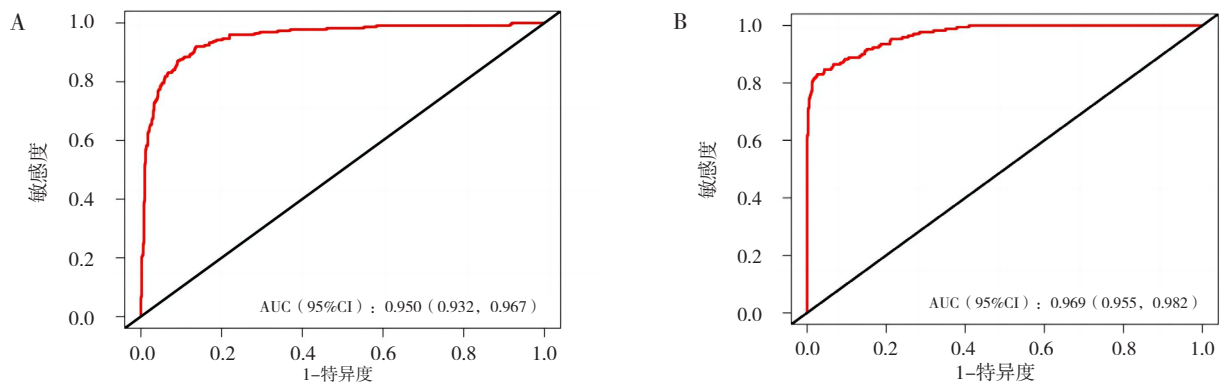


图2 AHC风险预测模型ROC分析

Figure 2. The ROC analysis of the AHC risk prediction model

注：训练集 (A) 和验证集 (B)。

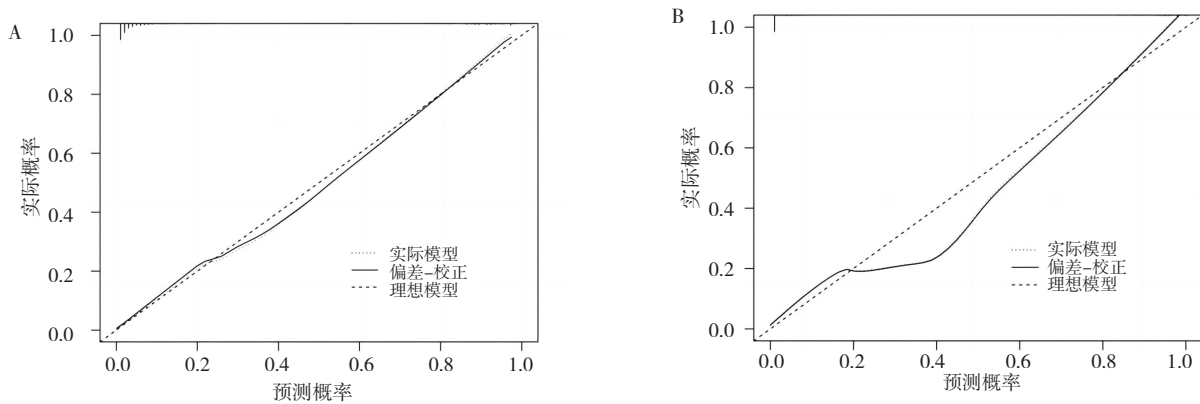


图3 AHC风险预测模型校准曲线分析

Figure 3. The calibration curve analysis of the AHC risk prediction model

注：训练集 (A) 和验证集 (B)。

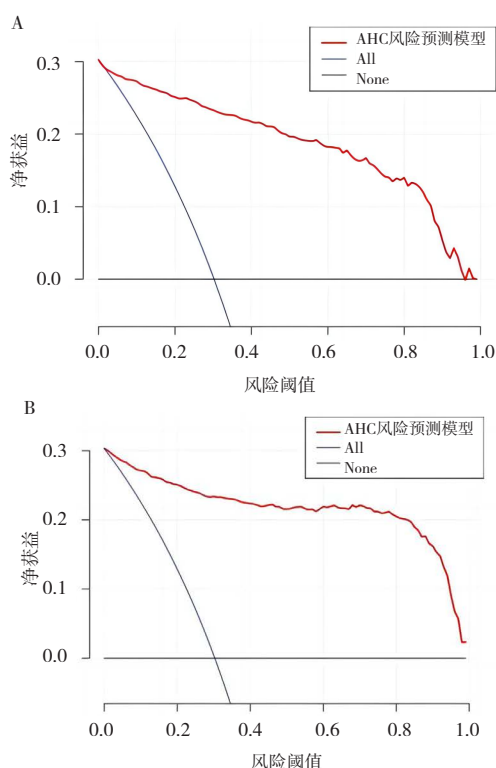


图4 AHC风险预测模型决策曲线分析

Figure 4. The decision curve analysis of the AHC risk prediction model

注：训练集（A）和验证集（B）。

3 讨论

本研究中 aSAH 患者 AHC 发生率为 30.51%，与既往研究相似^[11,14]。年龄 ≥ 60 岁、破入脑室、Fisher 分级与 Hunt-Hess 分级为 IV 级、高 NSE 水平及动脉瘤位于前循环与 aSAH 患者 AHC 的发生密切相关。 ≥ 60 岁的 aSAH 患者 AHC 发生风险较高，可能与机体老化有关，随着年龄不断增长，蛛网膜下腔也不断增宽，脑脊液重吸收能力下降，神经细胞更易损伤，故易发生 AHC^[15]。本研究结果显示破入脑室是 aSAH 患者发生 AHC 的独立危险因素。既往研究表明 aSAH 破入脑室后会导致脑脊液粘度增高，从而引起脑脊液代谢平衡紊乱促进 HC 的发生^[11]。此外，本研究发现 Fisher 分级与 Hunt-Hess 分级为 IV 级的 aSAH 患者发生 AHC 的风险较大，与既往研究一致^[11,16]。蛛网膜下腔出血后 Fisher 分级可反映颅内血肿分布情况、评估患者出血状况，其等级增高表明出血越严重^[11]，故更易导致 AHC 发生。大量研究证实 aSAH 患者的 Hunt-Hess 分级越高，预后不良的风险就越高^[17-18]。此外，蛛网膜下腔出血后 Hunt-Hess 分级

越高表示脑组织损伤、脑血管痉挛程度加重，随着 Hunt-Hess 分级增高蛛网膜纤维化程度相应加重，脑脊液循环功能不良，进而增高 HC 发生概率^[11]。

NSE 是一种广泛表达于神经组织的烯醇化酶，其水平越高表示神经细胞破坏越严重^[19]。既往研究显示交通性 HC 患者血清 NSE 水平显著升高，且经有效治疗后下降^[20]。本研究结果表明，随着 NSE 水平不断增高，aSAH 患者发生 AHC 风险不断增加。上述结果可能是由于 aSAH、动脉瘤破裂、HC 聚集可引起局部炎症反应，促进 HMGB1 等炎症因子生成，并参与神经细胞增殖、分化等过程，同时脑部血管循环障碍引起脑部缺血、缺氧，二者相互作用可引起脑神经损伤，进而增加 NSE 等神经损伤因子释放量。此外，动脉瘤位置位于前循环时，aSAH 患者发生 AHC 风险降低，与吴俊儒等^[9]研究一致。后循环动脉瘤的位置更靠近第三和第四脑室，动脉瘤破裂后形成的血肿更容易阻碍和干扰脑脊液循环，降低蛛网膜下腔对血凝块的吸收和分解速度，最终导致慢性 HC 的发病率更高^[21]。此外，后循环出血更容易进入基底池和脑室形成血凝块^[22]。相反，前循环动脉瘤的 HC 发生率较低可能是由于在外侧和半球间裂形成血凝块的机会较低^[21]。然而，师昱姗等^[11]研究显示动脉瘤位置对 aSAH 患者 HC 发生风险并无影响。不同的研究结果可能是由于混杂因素所致，如样本量及 HC 分期，未来有待进一步研究。

Wang 等^[18]基于 2 271 例 aSAH 合并 HC 患者构建预后不良预测模型和迟发性脑出血模型，但该研究目的与研究人群均与本研究不一致，并不能进行比较。目前，国内外学者均对 aSAH 患者发生 HC 的危险因素进行了探究，并构建了相应的预测模型^[8,23]。然而，上述研究也存在部分不足。第一，研究并未区分急性、亚急性和慢性 HC，故缺乏针对性；第二，样本量较小，本研究是上述研究样本量的 2~4 倍。

本研究显示 AHC 风险预测模型在训练集和验证集 AUC 值分别为 0.950 和 0.969，高于既往 HC 相关预测模型^[9-11]，提示本研究构建的 AHC 风险预测模型具有高准确性，可能提前识别至少 90% 以上的高危 aSAH 患者。本研究结果显示训练集“预测 AHC 概率”和“实际 AHC 概率”基本吻合，提示 AHC 风险预测模型具备较好的校准度。然而，验证集中校准曲线有一定的偏离

度,可能会造成实际应用过程中低估 AHC 的发生风险。其可能与验证集样本量较小有关,仍需外部验证进一步探究。本研究结果显示 Hosmer-Lemeshow 检验在训练集和验证集中差异均无统计学意义,该结果与校准曲线结果一致,提示 AHC 风险预测模型具备较好的校准度。

本研究也存在一定的局限性。第一,本研究为单中心回顾性研究,研究人群选择上可能存在一定的选择偏倚,导致 AHC 风险预测模型适用范围局限;第二,无外部验证及前瞻性验证,AHC 预测模型的可推性和可靠性仍需进一步探究,未来应进一步开展多中心、更大样本量、前瞻性研究以明确 AHC 风险预测模型的可靠性;第三,仅针对 AHC 构建预测模型,缺乏亚急性和慢性 HC 风险预测,后续应进一步深入探究,明确不同临床分型 HC 危险因素的一致性和差异性。

综上,年龄 ≥ 60 岁、破入脑室、Fisher 分级与 Hunt-Hess 分级为 IV 级、高 NSE 水平和动脉瘤位于前循环是 aSAH 患者发生 AHC 的影响因素。本研究构建的 AHC 预测模型具有良好的预测效能、精准度和临床适用性,可为临床工作者早期识别 AHC 的发生提供便捷工具。

参考文献

- 1 Etminan N, Chang HS, Hackenberg K, et al. Worldwide incidence of aneurysmal subarachnoid hemorrhage according to region, time period, blood pressure, and smoking prevalence in the population: a systematic review and Meta-analysis[J]. *JAMA Neurol*, 2019, 76(5): 588–597. DOI: 10.1001/jamaneurol.2019.0006.
- 2 王雪涛,林泽森,金丹. 脑脉解痉汤对动脉瘤性蛛网膜下腔出血的临床相关性研究[J]. *中国药师*, 2023, 26(11): 257–263. [Wang XT, Lin ZS, Jin D. Clinical correlation study of Naomai Jiejing decoction on aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *China Pharmacist*, 2023, 26(11): 257–263.] DOI: 10.12173/j.issn.1008-049X.202311003.
- 3 Hoh BL, Ko NU, Amin-Hanjani S, et al. 2023 guideline for the management of patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2023, 54(12): e516. DOI: 10.1161/STR.0000000000000449.
- 4 曹兵,丁奇,刘熙鹏,等. 血清 IL-33 和 netrin-1 对动脉瘤性蛛网膜下腔出血手术治疗患者短期预后的临床价值[J]. *西部医学*, 2022, 34(6): 866–870. [Cao B, Ding Q, Liu XP, et al. The predictive value of serum IL-33 and netrin-1 on surgical treatment of patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *Medical Journal of West China*, 2022, 34(6): 866–870.] DOI: 10.3969/j.issn.1672-3511.2022.06.018.
- 5 Neifert SN, Chapman EK, Martini ML, et al. Aneurysmal subarachnoid hemorrhage: the last decade[J]. *Transl Stroke Res*, 2021, 12(3): 428–446. DOI: 10.1007/s12975-020-00867-0.
- 6 Savarraj JPJ, McBride DW, Park E, et al. Leucine-rich alpha-2-glycoprotein 1 is a systemic biomarker of early brain injury and delayed cerebral ischemia after subarachnoid hemorrhage[J]. *Neurocrit Care*, 2023, 38(3): 771–780. DOI: 10.1007/s12028-022-01652-7.
- 7 Metayer T, Orset C, Ali C, et al. Bumetanide lowers acute hydrocephalus in a rat model of subarachnoid hemorrhage[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2022, 164(2): 499–505. DOI: 10.1007/s00701-021-05088-4.
- 8 Wang L, Zhang Q, Zhang G, et al. Risk factors and predictive models of poor prognosis and delayed cerebral ischemia in aneurysmal subarachnoid hemorrhage complicated with hydrocephalus[J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 1014501. DOI: 10.3389/fneur.2022.1014501.
- 9 吴俊儒,李红伟,董阳,等. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血后分流依赖性脑积水危险因素分析[J]. *河南医学研究*, 2018, 27(7): 1165–1168. [Wu JR, Li HW, Dong Y, et al. The risk factors of the shunt-dependent hydrocephalus after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *Henan Medical Research*, 2018, 27(7): 1165–1168.] DOI: 10.3969/j.issn.1004-437X.2018.07.005.
- 10 邵世蓉,邓天芳,王艳,等. 个性化预测创伤性蛛网膜下腔出血并发脑积水的风险模型建立[J]. *蛇志*, 2022, 34(3): 311–315. [Shao SR, Deng TF, Wang Y, et al. Establishment of a personalized model to predict the risk of traumatic subarachnoid hemorrhage complicated with hydrocephalus[J]. *Journal of Snake*, 2022, 34(3): 311–315.] DOI: 10.3969/j.issn.1001-5639.2022.03.005.
- 11 师昱娜,庄飞. 基于 Logistic 回归方程分析 aSAH 患者脑积水影响因素及预测模型构建[J]. *中国医学工程*, 2023, 31(5): 82–86. [Shi YS, Zhuang F. Analysis of influencing factors and prediction model construction for hydrocephalus in aSAH patients based on logistic regression equation[J]. *China Medical Engineering*, 2023, 31(5): 82–86.] DOI: 10.19338/j.issn.1672-2019.2023.05.017.

- 12 国家卫生计生委脑卒中防治工程编写委员会. 中国动脉瘤性蛛网膜下腔出血诊疗指导规范[J]. 中国脑血管病杂志, 2016, 12(7): 384–392. [National Health and Family Planning Commission Stroke Prevention and Control Project Writing Committee. Guidelines for the diagnosis and treatment of aneurysmal subarachnoid haemorrhage in China[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases, 2016, 12(7): 384–392.] DOI: [10.3969/j.issn.1672-5921.2016.07.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5921.2016.07.012).
- 13 中国医师协会神经外科医师分会. 中国脑积水规范化治疗专家共识(2013版)[J]. 中华神经外科杂志, 2013, 29(6): 634–637. [Neurosurgeons Branch of the Chinese Medical Association. Expert consensus on standardized treatment of hydrocephalus in China (2013 Edition)[J]. Chinese Journal of Neurosurgery, 2013, 29(6): 634–637.] DOI: [10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2013.06.035](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2013.06.035).
- 14 Kaneko J, Tagami T, Unemoto K, et al. Functional outcome following ultra-early treatment for ruptured aneurysms in patients with poor-grade subarachnoid hemorrhage[J]. J Nippon Med Sch, 2019, 86(2): 81–90. DOI: [10.1272/jnms.JNMS.2019_86-203](https://doi.org/10.1272/jnms.JNMS.2019_86-203).
- 15 宁铁英, 张晓鹏. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血并发慢性脑积水的危险因素分析[J]. 中国临床研究, 2019, 32(5): 634–636. [Ning TY, Zhang XP. Risk factors for aneurysmal subarachnoid hemorrhage complicated with chronic hydrocephalus[J]. Chinese Journal of Clinical Research, 2019, 32(5): 634–636.] DOI: [10.13429/j.cnki.cjcr.2019.05.016](https://doi.org/10.13429/j.cnki.cjcr.2019.05.016).
- 16 文唐敏, 陈才华. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血术后慢性脑积水危险因素分析[J]. 第三军医大学学报, 2021, 43(22): 2474–2479. [Wen TM, Chen CH. Risk factors of chronic hydrocephalus after operation of aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. Journal of Army Medical University, 2021, 43(22): 2474–2479.] DOI: [10.16016/j.1000-5404.202105114](https://doi.org/10.16016/j.1000-5404.202105114).
- 17 Lu C, Feng Y, Li H, et al. Microsurgical treatment of 86 anterior choroidal artery aneurysms: analysis of factors influencing the prognosis[J]. J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg, 2020, 81(6): 501–507. DOI: [10.1055/s-0039-3400952](https://doi.org/10.1055/s-0039-3400952).
- 18 Wang L, Zhang Q, Zhang G, et al. Risk factors and predictive models of poor prognosis and delayed cerebral ischemia in aneurysmal subarachnoid hemorrhage complicated with hydrocephalus[J]. Front Neurol, 2022, 13: 1014501. DOI: [10.3389/fneur.2022.1014501](https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1014501).
- 19 冯磊, 谢利平, 王鹏. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者脑脊液 HMGB1、NSE 水平变化及与脑积水的关系[J]. 河北医药, 2019, 41(18): 2798–2801. [Feng L, Xie LP, Wang P. The changes of HMGB1 and NSE levels in cerebrospinal fluid of patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage and their relationship with hydrocephalus[J]. Hebei Medical Journal, 2019, 41(18): 2798–2801.] DOI: [10.3969/j.issn.1002-7386.2019.18.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-7386.2019.18.018).
- 20 吴运桥, 欧阳火牛, 王上桥, 等. 可调压腰大池-腹腔分流术治疗交通性脑积水疗效及对 NIHSS 评分、血清 NSE、s100B 水平的影响[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2020, 33(3): 161–165. [Wu YQ, Ouyang HN, Wang SQ, et al. Therapeutic effect of adjustable pressure waist pool-peritoneal shunt on the treatment of communicating hydrocephalus and its effect on NIHSS score, serum NSE and s100B levels[J]. Chinese Journal of Stereotactic and Functional Neurosurgery, 2020, 33(3): 161–165.] DOI: [10.19854/j.cnki.1008-2425.2020.03.0008](https://doi.org/10.19854/j.cnki.1008-2425.2020.03.0008).
- 21 Liang H, Gui B, Gao A, et al. The MAI score: a novel score to early predict shunt-dependent hydrocephalus in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage after surgery[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2022, 219: 107317. DOI: [10.1016/j.clineuro.2022.107317](https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2022.107317).
- 22 Hostettler IC, Sebök M, Ambler G, et al. Validation and optimization of barrow neurological institute score in prediction of adverse events and functional outcome after subarachnoid hemorrhage-creation of the HATCH (hemorrhage, age, treatment, clinical state, hydrocephalus) score[J]. Neurosurgery, 2020, 88(1): 96–105. DOI: [10.1093/neuros/nyaa316](https://doi.org/10.1093/neuros/nyaa316).
- 23 Hao G, Shi Z, Huan Y, et al. Construction and verification of risk predicting models to evaluate the possibility of hydrocephalus following aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2024, 33(2): 107535. DOI: [10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107535](https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2023.107535).

收稿日期: 2024 年 06 月 20 日 修回日期: 2024 年 09 月 04 日
 本文编辑: 桂裕亮 曹越

引用本文: 张龙, 揣瑞宇, 王桂林, 等. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血并发急性脑积水的危险因素分析及预测模型构建[J]. 医学新知, 2024, 34(9): 999–1008. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202406077](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202406077)
 Zhang L, Chuai RY, Wang GL, et al. Risk factor analysis and prediction model construction of aneurysmal subarachnoid hemorrhage complicated by acute hydrocephalus[J]. Yixue Xinzhi Zazhi, 2024, 34(9): 999–1008. DOI: [10.12173/j.issn.1004-5511.202406077](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-5511.202406077)