

## 颅脑损伤患者脑疝形成的风险预测列线图模型构建与验证

杜虎, 齐晓鑫

(郑州市第十五人民医院 神经外科, 河南 郑州 450041)

**摘要:** **目的** 探讨颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素, 并以此构建风险预测列线图模型。 **方法** 回顾性分析2019年1月至2023年1月郑州市第十五人民医院收治的213例颅脑损伤患者的临床资料, 按照2:1的比例, 将其随机分配为建模组( $n=142$ )和验证组( $n=71$ )。根据患者有无脑疝形成将建模组分为脑疝组( $n=49$ )和无脑疝组( $n=93$ )。采用多因素Logistic回归分析法探讨颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素, 基于此建立风险预测列线图; 采用Bootstrap法进行内部验证; 采用受试者工作特征(ROC)曲线对列线图预测颅脑损伤患者脑疝形成的效能进行分析; 采用决策曲线(DCA)验证模型的临床净获益率。 **结果** 脑疝组年龄 $\geq 60$ 岁、高血压史、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑挫裂伤、脑积水、入院时低血压占比均高于无脑疝组( $P<0.05$ ), 入院时格拉斯哥昏迷评分(GCS)评分及入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L、去骨瓣减压术治疗占比均低于无脑疝组( $P<0.05$ ); 经多因素Logistic回归分析可知, 年龄 $\geq 60$ 岁、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑积水、入院时低血压均为颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素( $P<0.05$ ), 入院时GCS评分、入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L及去骨瓣减压术治疗均为颅脑损伤患者脑疝形成的保护因素( $P<0.05$ )。依据以上影响因素构建的列线图模型经Bootstrap法进行建模组、验证组验证, 其一致性指数分别为0.834、0.825, 校正曲线和理想曲线拟合度较好; ROC曲线结果显示, 建模组列线图预测颅脑损伤患者脑疝形成的曲线下面积(AUC)、灵敏度、特异度分别为0.864、83.67%、89.25%, 验证组分别为0.850、82.61%、87.50%; DCA曲线显示, 当患者的阈值概率为0.01~0.90, 列线图模型进行风险评估可获得满意的净收益。 **结论** 年龄 $\geq 60$ 岁、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑积水、入院时低血压、入院时GCS评分、入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L及去骨瓣减压术均为颅脑损伤患者脑疝形成的影响因素, 基于上述因素构建的列线图预测模型效能较好, 有助于临床及时筛选出颅脑损伤后脑疝形成的高危患者。

**关键词:** 颅脑损伤; 脑疝; 危险因素; 列线图模型

中图分类号: R651.1+5

## Construction and verification of risk prediction nomogram model for cerebral hernia formation in patients with craniocerebral injury

DU Hu, QI Xiaoxin

(Department of Neurosurgery, the 15th People's Hospital of Zhengzhou, Zhengzhou, Henan 450041, China)

**Abstract:** **[Objective]** To explore the risk factors of cerebral hernia formation in patients with craniocerebral injury, and to construct a risk prediction nomogram model. **[Methods]** The clinical data of 213 patients with craniocerebral injury admitted to our hospital from January 2019 to January 2023 were retrospectively analyzed. According to the ratio of 2:1, they were randomly divided into modeling group ( $n=142$ ) and verification group ( $n=71$ ). According to the presence or absence of brain herniation in patients, the modeling group was divided into cerebral hernia group ( $n=49$ ) and non-cerebral hernia group ( $n=93$ ). Multivariate logistic regression analysis was used to explore the risk factors of cerebral hernia formation in patients with craniocerebral injury, and a risk prediction nomogram was established based on this. Bootstrap method was used for internal verification. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the efficacy of nomogram in predicting the formation of cerebral hernia in patients with craniocerebral injury. The decision curve analysis (DCA) was used to verify the clinical net benefit rate of the model. **[Results]** The proportions of age  $\geq 60$  years old, history of hypertension, smoking, open brain injury, subarachnoid hemorrhage, cerebral contusion and laceration, hydrocephalus and hypotension at admission in the cerebral hernia group were higher than those in the non-cerebral hernia group ( $P<0.05$ ), and the Glasgow Coma Scale (GCS) score at admission, blood sodium concentration  $\geq 135$  mmol/L at admission and the proportion of decompressive craniectomy treatment were lower than those in the non-cerebral hernia group ( $P<0.05$ ). Multivariate logistic regression analysis showed that age  $\geq 60$  years, smoking history, open craniocerebral injury,

subarachnoid hemorrhage, hydrocephalus and hypotension at admission were risk factors for cerebral hernia formation in patients with craniocerebral injury ( $P<0.05$ ), and GCS score at admission, serum sodium concentration at admission  $\geq 135$  mmol/L and decompressive craniectomy were protective factors for cerebral hernia formation in patients with craniocerebral injury ( $P<0.05$ ). The nomogram model constructed based on the above influencing factors was verified by Bootstrap method in the modeling group and the verification group, and the consistency indexes were 0.834 and 0.825 respectively, and the calibration curve and ideal curve fitting were good. The ROC curve results showed that the area under the curve (AUC), sensitivity and specificity of the modeling group nomogram for predicting the formation of cerebral hernia in patients with head injury were 0.864, 83.67% and 89.25% respectively, while the validation group were 0.850, 82.61% and 87.50% respectively. The DCA curve showed that when the patient's threshold probability was 0.01 to 0.90, the nomogram model could obtain satisfactory net returns for risk assessment. **【Conclusion】** Age  $\geq 60$  years old, smoking history, open craniocerebral injury, subarachnoid hemorrhage, hydrocephalus, hypotension at admission, GCS score at admission, blood sodium concentration at admission  $\geq 135$  mmol/L and decompressive craniectomy are all influencing factors for the formation of cerebral hernia in patients with craniocerebral injury. The nomogram prediction model constructed based on the above factors has good performance, which is helpful to timely screen high-risk patients with cerebral hernia formation after craniocerebral injury in clinical practice.

**Keywords:** craniocerebral injury; cerebral hernia; risk factors; nomogram model

颅脑损伤是一种较为常见的外伤，主要是由于外界暴力作用于头部而引起，多见于交通事故、坠落及各种锐器钝器对头部的伤害等，具有发病率高、致死率高和致残率高等特点<sup>[1-2]</sup>。颅脑损伤发生后，受组织反应、出血等因素的影响，易导致脑疝形成<sup>[3]</sup>。脑疝具有发病急、进展迅速、死亡率高特点，严重影响患者生命安全与预后<sup>[4]</sup>。因此需积极探讨影响颅脑损伤患者脑疝形成的因素，并建立可个性化预测颅脑损伤患者脑疝形成的风险模型，以指导临床早期干预和制定个体化的防治措施。目前研究多集中于颅脑损伤并发脑疝患者的治疗报道<sup>[5]</sup>，对颅脑损伤患者脑疝形成影响因素的相关研究较为少见，且尚缺乏方便、简洁、准确预测颅脑损伤患者脑疝形成风险的方法。列线图模型作为一种具有可重复性、准确、可视化及直观等优点的预测模型，能够帮助临床医师直观分析患者发生某事件的风险权重，已广泛应用于患者预后和不良事件等发生风险的预测<sup>[6-7]</sup>。基于此，本研究回顾性分析颅脑损伤患者的临床资料，探究其脑疝形成的影响因素，并进一步构建风险预测列线图模型，以为临床防控提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2019 年 1 月至 2023 年 1 月郑州市第十五人民医院收治的 213 例颅脑损伤患者的临床资料，按照 2 : 1 的比例，将其随机分配为建模组 ( $n=142$ ) 和验证组 ( $n=71$ )。纳入标准：①有明确创伤史；②入院后经头颅 MRI 及 CT 等检测确诊是颅脑损伤；③年龄 18~75 岁；④入院

时格拉斯哥昏迷评分 (GCS)<sup>[8]</sup> 为 3~8 分；⑤伤后 24 h 内入院；⑥临床资料完整。排除标准：①妊娠及哺乳期女性；②合并严重肝肾功不全、恶性肿瘤、血液系统疾病；③其他原因引起瞳孔缩小，如 Horner 征等；④精神疾病患者；⑤入院 72 h 内死亡；⑥既往有脑外伤史或颅内病变史者。本研究经伦理委员会审核批准。

### 1.2 方法

1.2.1 脑疝形成诊断标准 住院期间分别由两位神经外科专家根据颅脑 CT 或 MRI、瞳孔改变、意识改变等综合评估患者是否出现脑疝。脑疝的判断标准<sup>[9]</sup>：①有脑疝的临床表现，包括意识障碍加重、双侧瞳孔不等大等；②颅脑 CT 或 MRI 提示出现脑室受压、中线结构及脑组织移位。根据以上标准建模组和验证组分别有 49 例、23 例脑疝形成。将建模组脑疝形成患者归为脑疝组，无脑疝形成患者归为无脑疝组。

1.2.2 资料收集与整理 收集可能影响颅脑损伤患者脑疝形成的因素，包括性别、年龄、既往病史（高血压史、糖尿病史、冠心病史）、吸烟史、饮酒史、致伤原因（交通伤、高空坠落伤、击打伤）、入院时 GCS 评分、损伤类型（闭合性、开放性）、血肿部位（硬膜外血肿、硬膜下血肿、脑内血肿）、蛛网膜下腔出血、脑挫裂伤、颅底骨折、脑积水、去骨瓣减压术治疗、就诊至手术开始时间、入院时低血压、入院时血钠浓度、入院时体温、入院时总胆固醇 (TC)、入院时甘油三酯 (TG)、入院时空腹血糖 (FPG) 等。

### 1.3 统计学方法

以 SPSS 23.0 统计学软件行数据分析。计量资料以均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，用  $t$  检验；计数

资料以百分率 (%) 表示, 用  $\chi^2$  检验; 等级分布资料采用秩和检验组间差异。采用单因素和多因素 Logistic 回归分析颅脑损伤患者脑疝形成的风险因素; 采用 R3.4.3 软件包绘制列线图模型; 采用 Bootstrap 法进行内部验证并计算一致性指数 (C-index), 并绘制校正曲线; 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线评估列线图模型对颅脑损伤患者脑疝形成的预测效能; 采用决策曲线法 (DCA) 绘制 DCA 曲线评估模型的临床净获益。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 建模组与验证组一般资料比较

建模组和验证组性别、年龄、既往病史 (高血压史、糖尿病史、冠心病史)、吸烟史、饮酒史、致伤原因 (交通伤、高空坠落伤、击打伤)、入院时 GCS 评分、损伤类型 (闭合性、开放性)、

血肿部位 (硬膜外血肿、硬膜下血肿、脑内血肿)、蛛网膜下腔出血、脑挫裂伤、颅底骨折、脑积水、去骨瓣减压术治疗、就诊至手术开始时间、入院时低血压、入院时血钠浓度、入院时体温、入院时 TC、入院时 TG、入院时 FPG 等一般资料比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 建模组脑疝组和无脑疝组患者一般资料比较

脑疝组和无脑疝组性别、糖尿病史、冠心病史、饮酒史、致伤原因、血肿部位、颅底骨折、就诊至手术时间、入院时体温、TC、TG、FPG 比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 脑疝组年龄  $\geq 60$  岁、高血压史、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑挫裂伤、脑积水、入院时低血压占比均高于无脑疝组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 入院时 GCS 评分及入院时血钠浓度  $\geq 135$  mmol/L、去骨瓣减压术治疗占比均低于无脑疝组, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 建模组脑疝组和无脑疝组患者一般资料比较

一般资料	脑疝组(n=49)	无脑疝组(n=93)	$\chi^2/t/Z$	P
性别[n(%)]				
男	29(59.18)	58(62.37)	0.137	0.711
女	20(40.82)	35(37.63)		
年龄[n(%)]				
$\geq 60$ 岁	28(57.16)	34(36.56)	5.528	0.019
$< 60$ 岁	21(42.86)	59(63.44)		
既往病史[n(%)]				
高血压史	15(30.61)	15(16.13)	4.040	0.044
糖尿病史	6(12.24)	15(16.13)	0.384	0.535
冠心病史	4(8.16)	11(11.83)	0.151	0.698
吸烟史[n(%)]	17(34.69)	17(18.28)	4.748	0.029
饮酒史[n(%)]	7(14.29)	17(18.28)	0.364	0.546
致伤原因[n(%)]				
交通伤	27(55.10)	58(62.37)	0.972	0.615
高空坠落伤	13(26.53)	23(24.73)		
击打伤	9(18.37)	12(12.90)		
入院时 GCS 评分( $\bar{x} \pm s$ , 分)	5.37 $\pm$ 0.85	6.03 $\pm$ 1.07	3.739	<0.001
损伤类型[n(%)]				
闭合性	34(69.39)	79(84.95)	4.780	0.029
开放性	15(30.61)	14(15.05)		
血肿部位[n(%)]				
硬膜外血肿	9(18.37)	20(21.51)	0.402	0.818
硬膜下血肿	28(57.14)	54(58.06)		
脑内血肿	12(24.49)	19(20.43)		
蛛网膜下腔出血[n(%)]				
是	24(48.98)	22(23.66)	9.397	0.002
否	25(51.02)	71(76.34)		
脑挫裂伤[n(%)]				
是	17(34.69)	18(19.35)	4.065	0.044
否	32(65.31)	75(80.65)		

续表 1 建模组脑疝组和无脑疝组患者一般资料比较

一般资料	脑疝组(n=49)	无脑疝组(n=93)	$\chi^2/t/Z$	P
颅底骨折[n(%)]				
是	13(26.53)	31(33.33)	0.694	0.405
否	36(73.47)	62(66.67)		
脑积水[n(%)]				
是	15(30.61)	13(13.98)	5.609	0.018
否	34(69.39)	80(86.02)		
去骨瓣减压术治疗[n(%)]				
是	11(22.45)	39(41.94)	5.342	0.021
否	38(77.55)	54(58.06)		
就诊至手术开始时间( $\bar{x} \pm s, \text{min}$ )	57.28±10.13	59.22±8.66	1.196	0.234
入院时低血压[n(%)]				
是	8(16.33)	5(5.38)	4.627	0.031
否	41(83.67)	88(94.62)		
入院时血钠浓度[n(%)]				
≥135 mmol/L	28(57.14)	70(75.27)	4.930	0.026
<135 mmol/L	21(42.86)	23(24.73)		
入院时体温( $\bar{x} \pm s, ^\circ\text{C}$ )	36.43±0.35	36.37±0.41	0.870	0.386
入院时 TC( $\bar{x} \pm s, \text{mmol/L}$ )	4.38±1.02	4.45±0.98	0.399	0.691
入院时 TG( $\bar{x} \pm s, \text{mmol/L}$ )	1.89±0.35	1.79±0.30	1.781	0.077
入院时 FPG( $\bar{x} \pm s, \text{mmol/L}$ )	5.87±1.22	5.53±1.07	1.714	0.089

### 2.3 影响颅脑损伤患者脑疝形成的因素

将上述表 2 一般资料中  $P < 0.05$  的项目作为自变量，另将有无脑疝形成作为因变量，进行赋值，赋值情况如下。见表 2。

表 2 变量赋值

变量	变量名	赋值
年龄	X1	<60 岁=0, ≥60 岁=1
高血压史	X2	否=0, 是=1
吸烟史	X3	否=0, 是=1
入院时 GCS 评分	X4	实测值
损伤类型	X5	闭合性=0, 开放性=1
蛛网膜下腔出血	X6	否=0, 是=1
脑挫裂伤	X7	否=0, 是=1
脑积水	X8	否=0, 是=1
去骨瓣减压术治疗	X9	是=0, 否=1
入院时低血压	X10	否=0, 是=1
入院时血钠浓度	X11	≥135 mmol/L=0, <135 mmol/L=1
有无脑疝形成	Y	无脑疝形成=0, 脑疝形成=1

经多因素 Logistic 回归分析可知，年龄≥60 岁、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑积水、入院时低血压均为颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素 ( $P < 0.05$ )，入院时 GCS 评分、入院时血钠浓度≥135 mmol/L 及去骨瓣减压术治疗均为颅脑损伤患者脑疝形成的保护因素 ( $P < 0.05$ )。

见表 3。根据多因素 Logistic 分析结果得出风险预测计算公式：风险分数= $-3.771+0.836X1+0.472X3+(-0.435X4)+0.622X5+1.128X6+1.035X8+(-0.531X9)+0.513X10+(-0.375X11)$ ，将颅脑损伤患者的有关信息代入该模型，便可计算出其脑疝形成的发生概率。

### 2.4 颅脑损伤患者脑疝形成的风险预测列线图模型的构建及验证

将多因素 Logistic 回归分析筛选的 9 个独立影响因素作为预测指标，构建颅脑损伤患者脑疝形成的风险预测列线图模型。见图 1。运用 Bootstrap 法对模型进行内部验证，建模组和验证组计算的 C-index 值分别为 0.834、0.825，校正曲线和理想曲线拟合度较好，提示模型校准度良好，见图 2、图 3。ROC 曲线结果显示，建模组列线图预测颅脑损伤患者脑疝形成的曲线下面积 (AUC) 为 0.864 (0.796~0.915)，灵敏度为 83.67%，特异度为 89.25%，见图 4；验证组列线图预测颅脑损伤患者脑疝形成的 AUC 为 0.850 (0.745~0.923)，灵敏度为 82.61%，特异度为 87.50%，见图 5，提示列线图模型具有较好的预测效能。DCA 曲线显示风险阈值概率在 0.01~0.90 时，有较高的净获益值，提示该模型临床实用性较好，见图 6。

表 3 多因素 Logistic 回归分析

影响因素	$\beta$	S.E.	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
年龄 $\geq 60$ 岁	0.836	0.228	13.444	<0.001	2.307	1.476~3.138
高血压史	0.213	0.169	1.588	0.220	1.237	0.614~1.861
吸烟史	0.472	0.202	5.460	0.023	1.603	1.032~2.174
入院时 GCS 评分	-0.435	0.143	9.254	0.002	0.647	0.342~0.953
开放性颅脑损伤	0.622	0.238	6.830	0.010	1.863	1.007~2.718
蛛网膜下腔出血	1.128	0.368	9.396	0.002	3.089	1.955~4.224
脑挫裂伤	0.189	0.121	2.440	0.105	1.208	0.703~1.713
脑积水	1.035	0.334	9.603	0.002	2.815	1.731~3.899
去骨瓣减压术治疗	-0.531	0.178	8.899	0.003	0.588	0.307~0.869
入院时低血压	0.513	0.187	7.526	0.007	1.670	1.077~2.264
入院时血钠浓度 $\geq 135$ mmol/L	-0.375	0.141	7.073	0.009	0.687	0.377~0.998
常数项	-3.771	1.077	12.260	<0.001	-	-

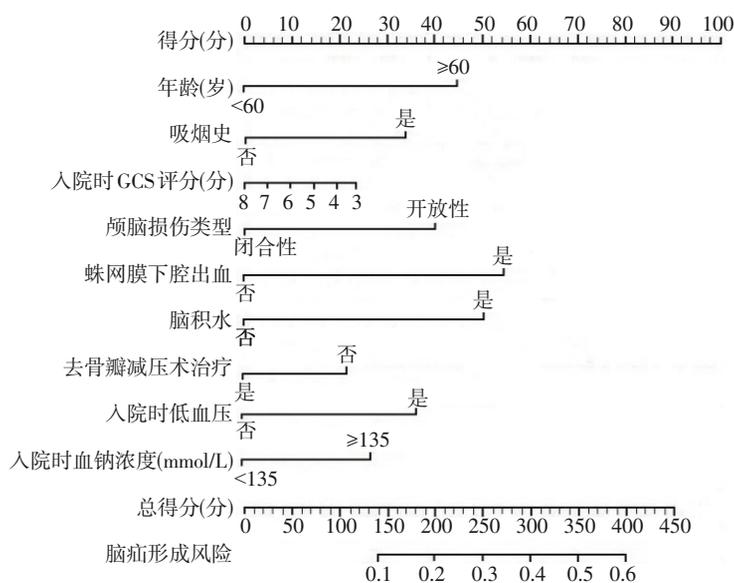


图 1 颅脑损伤患者脑疝形成的风险预测列线图模型

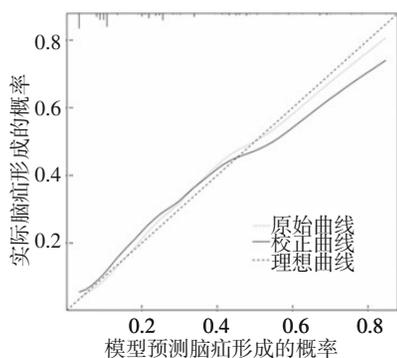


图 2 列线图风险模型预测颅脑损伤患者脑疝形成的校准曲线 (建模组)

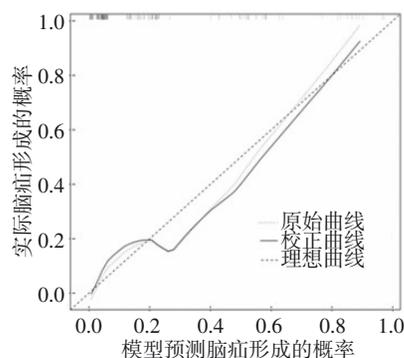


图 3 列线图风险模型预测颅脑损伤患者脑疝形成的校准曲线 (验证组)

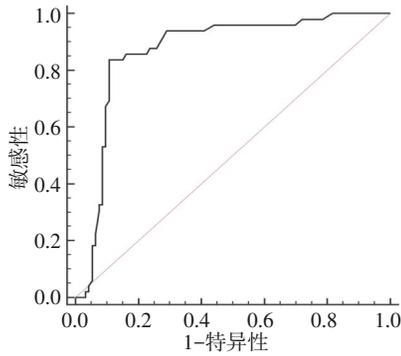


图 4 列线图模型预测颅脑损伤患者脑疝形成的 ROC 曲线 (建模组)

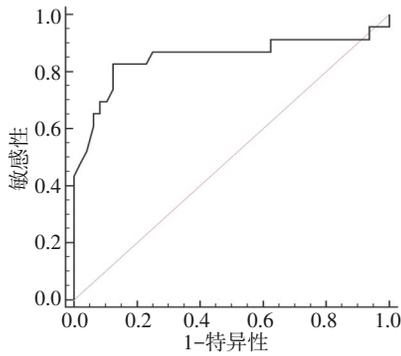


图 5 列线图模型预测颅脑损伤患者脑疝形成的 ROC 曲线 (验证组)

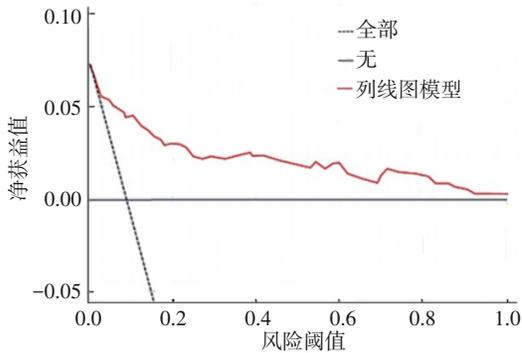


图 6 列线图风险模型预测颅脑损伤患者脑疝形成的 DCA 曲线

### 3 讨论

随着我国社会的快速发展, 交通事故、高空坠落、撞击等事故的发生率呈上升趋势, 导致颅脑损伤患者的发病率逐渐升高<sup>[10]</sup>。脑疝是颅脑损伤后较为常见的并发症之一, 是由于正常颅腔内某个分腔的压力高于邻近的分腔, 在局部压力的作用下, 使得高压区的脑组织向低压区挤压而形成, 对邻近的神经、血管以及脑组织造成压迫, 从而导致一系列的并发症的发生, 严重威胁患者生命<sup>[11-12]</sup>。因此, 需积极构建颅脑损伤患者脑疝

形成的个性化列线图风险预测模型, 以优化颅脑损伤患者围术期管理, 指导临床治疗。

本研究经 Logistic 回归分析结果发现, 年龄 $\geq 60$ 岁、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑积水、入院时低血压均为颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素, 入院时 GCS 评分、入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L 及去骨瓣减压术治疗均为颅脑损伤患者脑疝形成的保护因素。分析原因可能为, 年龄 $\geq 60$ 岁的患者身体素质较差, 合并多种基础疾病, 颅脑损伤后因血液循环障碍, 易发生充血、出血或水肿状况而引发脑疝的发生。烟草烟雾中含有高浓度的过氧化物和活性氧, 易导致氧化应激反应, 损伤脑血管系统, 引起血管壁的炎症反应和血栓性损害, 加重颅脑损伤后的脑水肿, 从而增加脑疝发生概率<sup>[13]</sup>。开放性颅脑损伤病情更为严重, 开放性颅脑损伤患者易出现创道内血肿、颅内血肿等情况, 从而引起严重颅内压升高, 出现头痛、呕吐、进行性意识障碍等症状, 导致脑疝形成。蛛网膜下腔出血极易导致红细胞发生破裂, 氧合血红蛋白可作用于血管平滑肌, 致使血管痉挛, 增加脑疝形成风险。相关研究表明<sup>[14]</sup>, 蛛网膜下腔出血会导致蛋白激酶 C 激活, 促进血管平滑肌的持续收缩, 引起脑血管严重痉挛, 加重脑组织缺血缺氧状态, 最终导致脑疝形成。颅脑损伤后血块阻塞脑脊液循环通路或脑室内出血堵塞室间孔以及颅内压增高影响脑脊液吸收、回流, 从而导致脑积水的发生, 进一步发展会导致脑疝形成<sup>[15]</sup>。入院时低血压会造成颅脑损伤患者脑灌注压的降低, 脑水肿症状加重, 颅内压逐渐升高, 另低血压会促进腺嘌呤核苷三磷酸的消耗, 使脑内自由基、脂质过氧化物等大量释放, 加重颅脑损伤, 形成恶性循环, 最终使脑疝形成。GCS 评分是临床上广泛应用的评估脑损伤严重程度的工具, 评分越低提示脑组织损伤越严重, 造成脑灌注压不足, 大脑供血动脉直接受压, 进而导致脑血管供血不足, 促使脑疝形成<sup>[16]</sup>, 因而入院时 GCS 评分高的颅脑损伤患者, 发生脑疝的概率会降低。血钠浓度 $< 135$  mmol/L 为低钠血症, 若颅脑损伤患者入院时发生低钠血症, 将会导致脑组织肿胀、颅内压升高, 尤其是在颅内压本身较高的基础上, 易导致脑疝的发生, 故入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L 为颅脑损伤患者脑疝形成的保护因素。去骨瓣减压术是治疗颅脑损伤较为常用的术式, 主要通过降低颅内压, 减少脑组织压迫, 促进血液的回流, 达到充分减压的目的, 从而降低脑疝发生风险<sup>[17]</sup>。

临床关于预测疾病的模型多种多样,列线图是基于多因素回归分析筛选出的风险因素进行整合,建立一种可视化的预测模型,临床可依据列线图模型对患者进行早期预测,评估患者发生某事件的风险,指导临床早期干预和预防<sup>[18]</sup>。本研究基于多因素分析结果构建的列线图预测模型,经 Bootstrap 内部验证的 C-index 值为 0.834,校正曲线和理想曲线拟合度较好;ROC 曲线结果显示,建模组列线图预测颅脑损伤患者脑疝形成的 AUC、灵敏度、特异度分别为 0.864、83.67%、89.25%,验证组分别为 0.850、82.61%、87.50%;且经 DCA 曲线评估显示可获得较好的净收益,以上结果均提示该列线图预测模型具有较好的预测效能,校准能力较好。本研究运用可视化的列线图,以简单快捷的获得较为准确的概率值,方便临床工作者对颅脑损伤患者脑疝形成的风险进行预测,以早期筛查颅脑损伤患者脑疝形成的高危人群,并积极采取相应防治措施进行早期干预,有利于降低颅脑损伤患者脑疝形成的发生率,改善患者预后。

综上所述,年龄 $\geq 60$ 岁、吸烟史、开放性颅脑损伤、蛛网膜下腔出血、脑积水、入院时低血压均为颅脑损伤患者脑疝形成的危险因素,入院时 GCS 评分、入院时血钠浓度 $\geq 135$  mmol/L 及去骨瓣减压术治疗均为颅脑损伤患者脑疝形成的保护因素,据此构建的列线图预测模型对颅脑损伤患者脑疝形成具有较好的预测效能,可为临床工作者对颅脑损伤患者脑疝形成的防控提供参考依据。

#### 参 考 文 献

[1] ZHANG JJ, LI YQ, GU YD, et al. Status and influencing factors of disease uncertainty among family caregivers of patients with moderate and severe craniocerebral injury: a quantitative and qualitative study[J]. *Acta Neurochir*, 2022, 164(12): 3119-3131.

[2] ZHAO HL, WANG JS, MA YX. Comparative study on the application of MRI and CT in acute craniocerebral injury[J]. *Minerva Surg*, 2022, 77(4): 414-416.

[3] SCIBILIA A, GALLINARO P, TODESCHI J, et al. Surgical management of persistent post-traumatic trans-tentorial brain hernia[J]. *Neurochirurgie*, 2022, 68(1): 44-51.

[4] LAN ZG, RICHARD SA, LI Q, et al. Outcomes of patients undergoing craniotomy and decompressive craniectomy for severe

traumatic brain injury with brain herniation: a retrospective study[J]. *Medicine*, 2020, 99(43): e22742.

[5] 胡均贤,袁玉明,徐春林,等. 血必净注射液在重型颅脑损伤脑疝患者开颅术后的临床应用研究[J]. *中医药导报*, 2019, 25(17): 81-83.

[6] HUANG X, LUO Z, LIANG W, et al. Survival nomogram for young breast cancer patients based on the SEER database and an external validation cohort[J]. *Ann Surg Oncol*, 2022, 29(9): 5772-5781.

[7] LI YF, CHEN DB, XUAN HJ, et al. Construction and validation of prognostic nomogram for metaplastic breast cancer[J]. *Bosn J Basic Med Sci*, 2022, 22(1): 131-139.

[8] COOK NF. The Glasgow Coma scale: a European and global perspective on enhancing practice[J]. *Crit Care Nurs Clin North Am*, 2021, 33(1): 89-99.

[9] 邓瑶,张艳玲,周慧,等. 大面积脑梗死患者脑疝及预后的影响因素研究[J]. *实用心脑血管病杂志*, 2020, 28(3): 56-61.

[10] BRAZINOVA A, REHORCIKOVA V, TAYLOR MS, et al. Epidemiology of traumatic brain injury in Europe: a living systematic review[J]. *J Neurotrauma*, 2021, 38(10): 1411-1440.

[11] RIVEROS GILARDI B, MUÑOZ LÓPEZ JL, HERNÁNDEZ VILLEGAS AC, et al. Types of cerebral herniation and their imaging features[J]. *Radiographics*, 2019, 39(6): 1598-1610.

[12] TADEVOSYAN A, KORNBLUTH J. Brain herniation and intracranial hypertension[J]. *Neurol Clin*, 2021, 39(2): 293-318.

[13] SHI Y, GUO L, CHEN YK, et al. Risk factors for ischemic stroke: differences between cerebral small vessel and large artery atherosclerosis aetiologies[J]. *Folia Neuropathol*, 2021, 59(4): 378-385.

[14] CHEN T, WANG Y, WANG YH, et al. The Mfn1- $\beta$ IIIPKC interaction regulates mitochondrial dysfunction via Sirt3 following experimental subarachnoid hemorrhage[J]. *Transl Stroke Res*, 2022, 13(5): 845-857.

[15] 揭家广,邢红伟,刘金龙. 重型颅脑损伤患者术后继发性脑积水的相关风险 Logistic 多因素分析[J]. *武警后勤学院学报(医学版)*, 2021, 30(10): 122-123, 126.

[16] RAKHIT S, NORDNESS MF, LOMBARDO SR, et al. Management and challenges of severe traumatic brain injury[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2021, 42(1): 127-144.

[17] HAWRYLUK GWJ, RUBIANO AM, TOTTEN AM, et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury: 2020 update of the decompressive craniectomy recommendations[J]. *Neurosurgery*, 2020, 87(3): 427-434.

[18] TONG CY, MIAO Q, ZHENG JJ, et al. A novel nomogram for predicting the decision to delayed extubation after thoracoscopic lung cancer surgery[J]. *Ann Med*, 2023, 55(1): 800-807.

(张咏 编辑)