doi：10.7499/j.issn.1008-8830.2501057

论著·临床研究

儿童脓毒症性凝血病的预测因素分析及预测模型的建立

玛依热·买合木提　依帕古力·斯米江

（北京儿童医院新疆医院/新疆维吾尔自治区儿童医院重症医学科，新疆乌鲁木齐　830000）

［摘要］**目的**　探讨儿童脓毒症性凝血病（sepsis-induced coagulopathy, SIC）发生的预测因素，并建立预测模型。**方法**　回顾性收集2021年7月—2023年12月北京儿童医院新疆医院重症监护病房治疗的脓毒症患儿的临床资料，按照是否出现SIC分为SIC组（*n*=64）和非SIC组（*n*=61）。采用多因素logistic回归分析筛选出SIC发生的独立预测因素。并基于这些因素建立SIC发生的预测模型，采用受试者操作特征曲线的曲线下面积、校准曲线及临床决策曲线评估模型的预测效能及临床应用价值。**结果**　多因素logistic回归分析显示，降钙素原、儿童序贯器官功能衰竭评估评分及血小板平均体积是脓毒症患儿发生SIC的预测指标（*P*<0.05）。基于这3个指标构建的预测模型的曲线下面积为0.903（95%*CI*：0.852~0.953，*P*<0.001），其灵敏度和特异度分别为0.922、0.738。校准曲线分析表明，模型预测与实际观测结果具有良好的一致性。临床决策曲线分析表明，预测模型的临床获益良好。**结论**　降钙素原、儿童序贯器官功能衰竭评估评分及血小板平均体积是儿童脓毒症发生SIC的预测指标；基于这3个预测指标建立的预测模型效能较高，具有良好的临床实用性。

［中国当代儿科杂志，2025，27（12）：1506-1513］

［关键词］脓毒症性凝血病；预测指标；预测模型；儿童

Predictors of sepsis-induced coagulopathy in children and development of a prediction model

MAIHEMUTI Mayire, SIMIJIANG Yipaguli. Pediatric Intensive Care Unit, Xinjiang Hospital of Beijing Children's Hospital/Children's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China (Simijiang Y, Email: 313400546@qq.com)

Abstract: Objective　To identify predictors of sepsis-induced coagulopathy (SIC) in children and to establish a prediction model. **Methods**　Clinical data were retrospectively collected from children with sepsis treated in the pediatric intensive care unit of Xinjiang Hospital of Beijing Children's Hospital between July 2021 and December 2023. Patients were classified into the SIC group (*n*=64) and the non-SIC group (*n*=61) according to whether SIC occurred. Multivariable logistic regression was employed to identify independent predictors of SIC. A prediction model was developed based on these factors. The predictive performance and clinical utility of the model were evaluated using the area under the receiver operating characteristic curve, calibration curve, and decision curve analysis. **Results**　The multivariable logistic regression analysis showed that procalcitonin, Pediatric Sequential Organ Failure Assessment (pSOFA) score, and mean platelet volume were independent predictors of SIC in children with sepsis (*P*<0.05). The model developed from these three predictors yielded an area under the curve of 0.903 (95%*CI*: 0.852-0.953; *P*<0.001), with sensitivity and specificity of 0.922 and 0.738, respectively. The calibration curve analysis indicated good agreement between predicted and observed outcomes. The decision curve analysis showed favorable clinical benefit of the prediction model. **Conclusions**　Procalcitonin, pSOFA score, and mean platelet volume are predictors of SIC among children with sepsis; the prediction model based on these three predictors shows high performance and has good clinical applicability.　**[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2025, 27(12): 1506-1513]**

Key words: Sepsis-induced coagulopathy; Predictor; Prediction model; Child

［收稿日期］2025-01-15；［接受日期］2025-08-09

［作者简介］玛依热·买合木提，女，硕士研究生，主治医师。

［通信作者］依帕古力·斯米江，女，副主任医师。Email：313400546@qq.com。

脓毒症是一种高发病率及病死率的感染性疾病，是导致儿童死亡的主要原因之一[1]，常常诱发脓毒症相关性凝血功能障碍，导致预后不良和病死率增高[2]。2017年，国际血栓和止血学会弥漫性血管内凝血标准化委员会提出了脓毒症性凝血病（sepsis-induced coagulopathy, SIC），被定义为“感染引起的器官功能障碍和凝血病”，建立了SIC标准及其评分系统[3]。该标准纳入了国际标准化比值（international normalized ratio, INR）、血小板计数和序贯器官功能衰竭评估（Sequential Organ Failure Assessment, SOFA）评分，总分≥4分即可诊断为SIC。研究显示，SIC评分≥4分的脓毒症患者，病死率超过30%[4]。近年来，SIC评分被发展成为凝血病相关脓毒症的新标准。2021年，Xiang等[5]在参考成人SIC评分的基础上，结合儿童序贯器官功能衰竭评估（Pediatric Sequential Organ Failure Assessment, pSOFA）评分提出了儿童SIC评分（以下称为pSIC评分）。研究表明，pSIC评分在诊断儿童SIC、筛查潜在的非显性弥散性血管内凝血（disseminated intravascular coagulation, DIC）、评估儿童脓毒症的严重程度、器官功能障碍及28 d转归方面具有良好的效能[5]。儿童脓毒症患者中，SIC发生率为40.3%~62.6%[2, 5-6]，如处理不当可发展为DIC，导致病死率显著升高[7]。SIC的发病机制复杂，其发生发展在血管内皮细胞损伤、凝血系统激活和炎症反应中存在复杂的相互作用机制[8]。随着医学发展，目前治疗SIC的方法多样，但尚无有效降低病死率的报道。因此，尽早识别SIC发生的因素，并及时干预，具有十分重要的临床价值。但如何早期预警儿童SIC，目前尚未见报道。基于此，本研究回顾性分析儿童脓毒症患者相关临床数据，进一步明确儿童SIC发病的预测因素，建立可视化预测模型，以期及早发现SIC，并采取有效措施，提高救治成功率。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性纳入2021年7月—2023年12月在我院儿童重症监护室（pediatric intensive care unit, PICU）住院的脓毒症患儿作为研究对象。纳入标准：（1）年龄≥28 d，且<18岁；（2）符合儿童脓毒症的诊断标准[9]；（3）入住PICU时间>24 h，且病例资料完整。排除标准：（1）既往有血液系统疾病、恶性肿瘤病史、肝硬化、尿毒症病史；（2）先天性凝血功能障碍；（3）入院前1周服用过抗凝药物；（4）大出血、失血性休克，需大量输血或使用止血药物；（5）相关资料不全或失访。本研究经我院伦理委员会审查通过（XJZZQETYY2025022701），并同意豁免患儿监护人知情同意。

1.2 儿童SIC诊断标准

目前，成人SIC采用SIC评分进行诊断，而儿童则采用Xiang等[5]提出的pSIC标准进行诊断。该评分系统基于血小板计数、INR及pSOFA评分3项指标，总分≥4分即可诊断为儿童SIC。见表1。

表1 儿童SIC的诊断指标的分值

指标	分值
血小板计数（×10^9/L）	
≥150	0
100~<150	1
<100	2
INR	
≤1.2	0
>1.2且≤1.4	1
>1.4	2
pSOFA评分	
0	0
1	1
≥2	2

注：［SIC］脓毒症性凝血病；［INR］国际标准化比值；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估。PLT、INR及pSOFA评分3项指标总得分≥4分，即可诊断为SIC。

1.3 资料收集

（1）一般资料：性别、年龄、感染部位、感染病原、28 d存活状况、总住院时间、PICU住院时间等；（2）实验室指标：入院24 h内的白细胞（white blood cell, WBC）计数、中性粒细胞（neutrophil, NEUT）百分比、淋巴细胞（lymphocyte, LYM）百分比、中性粒细胞/淋巴细胞比值（neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR）、红细胞（red blood cell, RBC）计数、血红蛋白（hemoglobin, Hb）、红细胞分布宽度（red blood cell distribution width, RDW）、血小板平均宽度（platelet distribution width, PDW）、血小板平均体积（mean platelet volume, MPV）、C反应蛋白（C-reactive protein, CRP）、降钙素原（procalcitonin, PCT）、纤维蛋白原（fibrinogen, FIB）、D-二聚体、

纤维蛋白原降解产物（fibrinogen degradation products, FDP）、抗凝血酶Ⅲ活性测定（antithrombin Ⅲ, ATⅢ）、总胆红素（total bilirubin, TBil）、白蛋白、B-型尿钠肽（B-type natriuretic peptide, BNP）、乳酸、尿素氮等；（3）病情评分：Glasgow 评分、pSOFA 评分、小儿危重症评分法（Pediatric Critical Illness Score, PCIS）评分等指标。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 24.0 和 R 语言 4.3.0 版软件进行统计学处理和作图。符合正态分布的计量资料用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用两样本 t 检验；非正态分布的计量资料以中位数（四分位数间距）［M（Q_1，Q_3）］表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验；计数资料采用例数和百分率（%）表示，组间比较采用卡方检验（含连续性校正的卡方检验）。对 SIC 发病的预测指标进行单因素分析后，将其中差异有统计学意义的指标纳入多因素逐步 logistic 回归分析中，以评估儿童 SIC 的独立预测指标。P<0.05 为差异有统计学意义。

进一步基于获得的预测指标构建 SIC 的临床预测模型。使用 R4.3.0 软件 rms 包建立列线图模型以可视化呈现，使用 Bootstrap 法内部重复抽样 1 000 次进行验证，并运用校正曲线判断其一致性。从区分度、校准度和临床有效性三方面对预测模型进行评价。通过绘制受试者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve, ROC 曲线）并计算曲线下面积（area under the curve, AUC）进行模型的区分度评估。模型的预测效能比较采用 DeLong 检验。模型校准度采用校准曲线验证，模型的临床有效性判断应用决策曲线分析进行评价。

2 结果

2.1 两组患儿一般资料的比较

共 125 例脓毒症患儿纳入分析，其中男 61 例，女 64 例。根据是否发生 SIC，分为 SIC 组（64 例）和非 SIC 组（61 例）。与非 SIC 组相比，SIC 组 28 d 病死率更高，差异有统计学意义（P<0.05）；两组在性别、年龄、体重、感染部位、病原学结果、PICU 住院时间、总住院时间等方面的比较，差异均无统计学意义（P>0.05）。见表 2。

表 2 两组一般资料的比较

指标	非 SIC 组（n=61）	SIC 组（n=64）	Z/χ^2 值	P 值
性别 (男/女, 例)	31/30	30/34	0.195	0.722
年龄 [$M(Q_1, Q_3)$, 月]	21(6, 90)	48(15, 96)	−1.542	0.123
体重 [$M(Q_1, Q_3)$, kg]	11(8, 23)	16(10, 25)	−1.320	0.187
感染部位 [n(%)]				
肺部/胸腔	28(46)	23(36)	1.248	0.279
胃肠道/腹腔	13(21)	17(27)	0.472	0.492
血流/骨髓	7(11)	8(13)	0.031	0.860
神经系统	6(10)	9(14)	0.528	0.467
泌尿系统	5(8)	6(9)	0.054	0.816
其他	2(3)	1(2)	0.002	0.966
病原学结果 [n(%)]				
革兰氏阳性菌	12(20)	14(22)	0.092	0.762
革兰氏阴性菌	11(18)	17(27)	1.307	0.253
真菌	2(3)	5(8)	0.508	0.476
支原体	1(2)	2(3)	0.000	1.000
病毒	2(3)	4(6)	0.128	0.720
PICU 住院时间 [$M(Q_1, Q_3)$, d]	4(3, 10)	5(3, 10)	−0.614	0.539
总住院时间 [$M(Q_1, Q_3)$, d]	13(9, 27)	22(7, 28)	−0.448	0.654
28 d 死亡 [n(%)]	3(5)	22(34)	16.938	<0.001

注：［PICU］儿童重症监护室；［SIC］脓毒症性凝血病。

2.2 两组实验室指标及病情评分的比较

与非 SIC 组相比，SIC 组的 WBC 计数、RBC 计数、Hb、ATⅢ、白蛋白、PCIS 评分等指标水平更低，而 MPV、PDW、PCT、D-二聚体、FDP、乳酸、尿素氮、pSOFA 等指标水平更高，差异有统计学意义（P<0.05）。而两组 NEUT、LYM、NLR、RDW、CRP、FIB、TBil、BNP、Glasgow 评分等指标的比较，差异无统计学意义（P>0.05）。见表 3。

2.3 SIC 发生的独立预测因素分析

将以上两组间单因素分析显示差异有统计学意义的指标纳入多因素 logistic 回归分析，结果显示，MPV、PCT、pSOFA 评分为 SIC 发病的独立预测指标（P<0.05），见表 4。

MPV、PCT、pSOFA 评分及三者联合预测 SIC 发生的 ROC 曲线分析显示，三者联合预测的 AUC 明显高于 MPV、PCT、pSOFA 评分各单独指标的预测效能（分别 Z=3.288，P=0.001；Z=3.518，P<0.001；Z=3.175，P=0.001）。见表 5、图 1。

表 3　两组实验室指标及病情评分的比较

指标	非 SIC 组 (n=61)	SIC 组 (n=64)	$t/Z/\chi^2$ 值	P 值
WBC 计数 [$M(Q_1, Q_3)$, $\times 10^9$/L]	12.65(7.18, 18.28)	7.70(4.11, 14.98)	−2.798	0.005
NEUT 百分比 [$M(Q_1, Q_3)$, %]	0.70(0.51, 0.81)	0.71(0.53, 0.86)	−0.588	0.557
LYM 百分比 [$M(Q_1, Q_3)$, %]	0.21(0.14, 0.38)	0.20(0.07, 0.30)	−1.630	0.103
NLR [$M(Q_1, Q_3)$]	3.30(1.31, 5.85)	3.50(1.60, 11.74)	−1.151	0.250
RBC 计数 ($\bar{x} \pm s$, $\times 10^{12}$/L)	3.59 ± 0.78	3.08 ± 0.90	−3.318	0.001
Hb ($\bar{x} \pm s$, g/L)	95 ± 18	82 ± 24	−3.222	0.002
RDW [$M(Q_1, Q_3)$, fl]	15.0(13.7, 16.8)	14.8(13.4, 17.0)	−0.178	0.859
MPV [$M(Q_1, Q_3)$, fl]	9.7(8.9, 10.6)	11.1(10.3, 12.3)	−5.584	<0.001
PDW [$M(Q_1, Q_3)$, fl]	10.1(8.8, 12.1)	13.2(11.1, 15.4)	−5.377	<0.001
CRP [$M(Q_1, Q_3)$, mg/L]	86.15(48.95, 128.49)	117.20(51.63, 162.86)	−1.837	0.066
PCT [$M(Q_1, Q_3)$, ng/mL]	7.50(2.70, 21.31)	30.45(12.56, 100.00)	−5.109	<0.001
FIB [$M(Q_1, Q_3)$, g/L]	2.90(2.04, 4.81)	2.99(1.50, 4.30)	−0.926	0.354
D-二聚体 [$M(Q_1, Q_3)$, mg/L]	2.28(1.02, 6.06)	6.44(2.16, 16.65)	−3.791	<0.001
FDP [$M(Q_1, Q_3)$, μg/mL]	8.90(4.55, 20.25)	26.30(8.49, 55.65)	−3.841	<0.001
ATⅢ [$M(Q_1, Q_3)$, %]	85.20(74.50, 96.45)	64.25(57.15, 81.08)	−4.626	<0.001
TBil [$M(Q_1, Q_3)$, μmol/L]	9.80(5.01, 13.45)	9.64(5.61, 16.06)	−0.854	0.393
白蛋白 [$M(Q_1, Q_3)$, g/L]	31.80(29.26, 36.20)	28.50(24.98, 31.36)	−3.880	<0.001
BNP [$M(Q_1, Q_3)$, pg/mL]	59.66(38.79, 134.10)	86.20(46.36, 306.96)	−1.879	0.060
乳酸 [$M(Q_1, Q_3)$, mmol/L]	2.23(1.85, 3.00)	2.80(2.07, 4.19)	−2.596	0.009
Glasgow 评分 [$M(Q_1, Q_3)$, 分]	15(13, 15)	14(9, 15)	−1.725	0.084
尿素氮 [$M(Q_1, Q_3)$, μmol/L]	4.19(3.07, 5.58)	5.73(3.59, 10.28)	−2.857	0.004
pSOFA 评分 [$M(Q_1, Q_3)$, 分]	4(3, 5)	7(5, 12)	−6.001	<0.001
PCIS 评分 [$M(Q_1, Q_3)$, 分]	72(68, 76)	66(60, 72)	−4.372	<0.001

注：［WBC］白细胞；［NEUT］中性粒细胞；［LYM］淋巴细胞；［NLR］中性粒细胞/淋巴细胞比值；［RBC］红细胞；［Hb］血红蛋白；［RDW］红细胞分布宽度；［PDW］血小板平均宽度；［MPV］血小板平均体积；［CRP］C 反应蛋白；［PCT］降钙素原；［FIB］纤维蛋白原；［FDP］纤维蛋白原降解产物；［ATⅢ］抗凝血酶Ⅲ活性测定；［TBil］总胆红素；［BNP］B-型尿钠肽；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估；［PCIS］小儿危重症评分法。

表 4　SIC 预测因素的多因素 logistic 回归分析结果

因素	B	SE	Waldχ^2	P	OR	95%CI
WBC 计数 ($\times 10^9$/L)	−0.051	0.036	1.975	0.160	0.950	0.884~1.020
RBC 计数 ($\times 10^{12}$/L)	0.474	0.848	0.313	0.576	1.607	0.305~8.474
Hb (g/L)	−0.056	0.036	2.434	0.119	0.945	0.881~1.015
MPV (fl)	0.642	0.281	5.237	0.022	1.901	1.097~3.295
PDW (fl)	0.020	0.040	0.260	0.610	1.020	0.944~1.103
PCT (ng/mL)	0.030	0.011	6.800	0.009	1.030	1.007~1.053
D-二聚体 (mg/L)	0.054	0.091	0.356	0.551	1.056	0.883~1.262
FDP (μg/mL)	−0.013	0.025	0.251	0.616	0.988	0.940~1.037
ATⅢ (%)	−0.021	0.015	2.007	0.157	0.979	0.952~1.008
白蛋白 (g/L)	−0.013	0.066	0.040	0.842	0.987	0.868~1.122
乳酸 (mmol/L)	−0.131	0.226	0.335	0.563	0.877	0.563~1.367
尿素氮 (mmol/L)	−0.009	0.061	0.021	0.885	0.991	0.879~1.118
pSOFA 评分 (分)	0.553	0.195	8.044	0.005	1.738	1.186~2.545
PCIS 评分 (分)	0.063	0.069	0.842	0.359	1.066	0.930~1.220

注：［WBC］白细胞；［RBC］红细胞；［Hb］血红蛋白；［MPV］血小板平均体积；［PDW］血小板分布宽度；［PCT］降钙素原；［FDP］纤维蛋白原降解产物；［ATⅢ］抗凝血酶Ⅲ活性测定；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估；［PCIS］小儿危重症评分法。各指标均为连续变量。

表 5　SIC 预测因素的 ROC 曲线分析

参数	AUC	95%*CI*	灵敏度	特异度	*P*值
MPV	0.789	0.709~0.869	0.734	0.738	<0.001
PCT	0.764	0.683~0.846	0.766	0.623	<0.001
pSOFA 评分	0.809	0.735~0.883	0.703	0.803	<0.001
MPV+PCT+pSOFA 评分	0.903	0.852~0.953	0.922	0.738	<0.001

注：［MPV］血小板平均体积；［PCT］降钙素原；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估；［SIC］脓毒症性凝血病；［ROC］受试者操作特征。

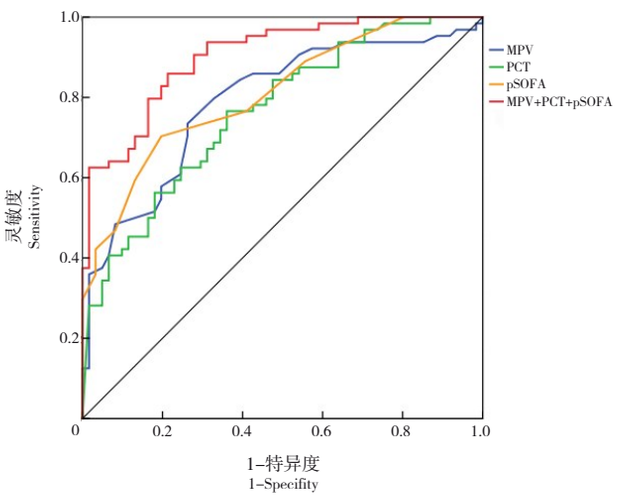


图 1　SIC 预测模型的 ROC 曲线　［MPV］血小板平均体积；［PCT］降钙素原；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估；［SIC］脓毒症性凝血病；［ROC］受试者操作特征。

2.4　SIC 风险预测模型可视化呈现

根据多因素 logistic 回归分析的结果，应用 R 软件 rms 包制作儿童脓毒症患者发生 SIC 的列线图。列线图中可见各预测指标数值（即 PCT、pSOFA 评分和 MPV）及各预测指标数值对应的评分标准，将各预测因素分值相加，所得分数为总得分，其对应的风险水平即预测发生 SIC 的概率。见图 2。

校准曲线分析表明，本模型预测与实际观测结果之间具有良好一致性，证明拟合模型的优越性，见图 3。

决策曲线分析显示，阈概率波动在 0.04~0.99 范围内，应用该风险评估工具都能为患儿带来净收益，表明该模型具有良好的临床实用价值，见图 4。

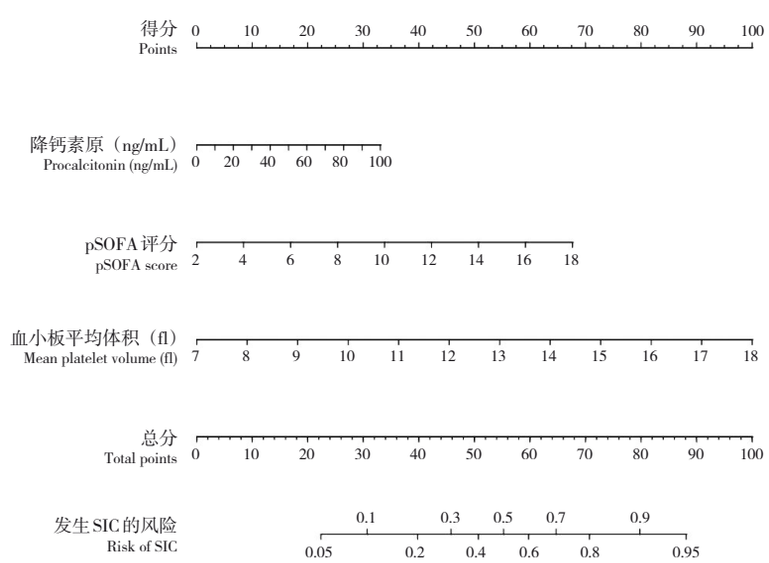


图 2　SIC 预测模型的列线图　［SIC］脓毒症性凝血病；［pSOFA］儿童序贯器官功能衰竭评估。根据模型查到每个指标对应的得分，相加后计算总分，总分对应的诊断概率即为患儿发生 SIC 的概率。

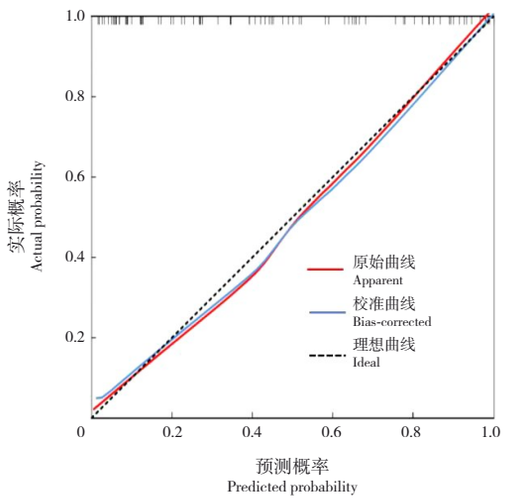


图3　脓毒症性凝血病预测模型的校准曲线　红色曲线代表原始曲线，蓝色曲线是经Bootstrap法内部验证后得到的校准曲线，对角线是理想曲线。校准曲线与理想曲线拟合度越高，表明预测模型的准确性越好。本模型预测结果与实际观测结果之间具有良好的一致性。

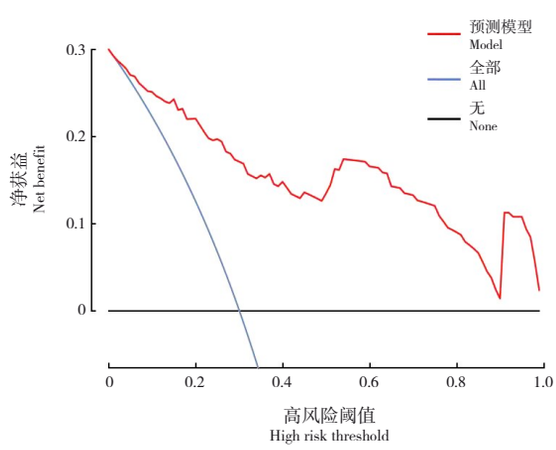


图4　脓毒症性凝血病风险预测模型的决策曲线　黑色横线表示所有患儿均不接受干预措施时，净获益为零；蓝色斜线表示假设所有患儿接受干预时，对应不同阈值下的净获益；红色曲线为模型在不同风险阈值上的净获益。在广泛的阈值范围内，红色曲线代表的模型净获益均高于“无干预”（黑色横线）和“全部干预”（蓝色斜线）策略，说明该模型的临床应用价值较高。

3　讨论

脓毒症是PICU中常见的危重症，SIC是其并发症之一。凝血系统一旦被激活，可诱导微血栓形成，如果凝血功能异常持续且不能纠正时，往往发展成为更严重的DIC，最终导致多器官功能衰竭[10]。脓毒症凝血功能障碍及DIC的早期识别可能会影响脓毒症患者的治疗策略[11]。2017年国际血栓与止血大会科学标准委员会提出SIC的诊断标准，用于区分脓毒症凝血功能异常[11]。SIC的诊断简单、快捷，更容易评估凝血障碍，且对脓毒症预后有良好的预测价值[12-13]。2023年，国际血栓与止血大会科学标准委员会强调SIC是脓毒症相关DIC早期代偿期的标准，在脓毒症患者中应早期筛查SIC，以降低脓毒症的病死率[14]。Xiang等[5]在2017年Matics[15]提出的pSOFA评分基础上，首次提出了脓毒症患儿pSIC评分方法，将pSOFA与SIC评分相结合，用pSOFA的SIC评分代替SOFA。随着对儿童脓毒症研究的深入，儿童SIC越来越受到临床医生的重视，2024年*JAMA*杂志刊登了儿童脓毒症的最新的“Phoenix标准”[16]，其中凝血功能评估是其重要的一项评估内容，表明凝血病在儿童脓毒症发生发展中不容忽视。据目前成人及儿童相关研究，约一半以上脓毒症患儿被诊断为SIC，且SIC患者的预后不良率明显高于未出现SIC的患者[5, 11]。本研究发现，SIC患儿病情更重，PCT等感染指标更高，MPV更大，pSOFA评分更高，且合并SIC的脓毒症患儿28 d病死率明显高于未出现SIC者，与既往相关研究[2, 5-6, 11-13]一致。

PCT是一种主要由甲状腺C细胞分泌的降钙素前体，发生感染的情况下，尤其是发生脓毒症时，PCT水平会迅速升高，感染控制后迅速下降，可以有效反映疾病严重程度及治疗效果[17]。研究显示，脓毒症患者血清PCT水平不仅能作为脓毒症患者死亡的独立预测因素，也能够反映疾病的严重程度，其水平随着病情严重程度的增加而升高[17-18]。本研究发现，SIC患儿的PCT水平显著高于非SIC患儿，提示PCT不仅能反映疾病的严重程度，还与儿童SIC的发生密切相关。有研究提示，PCT水平高的脓毒症患者更容易发生DIC，且PCT与D-二聚体、ATⅢ等凝血指标显著相关[19-20]。可能涉及的机制包括炎症与凝血的相互作用[21]、内皮损伤[22]等。但需注意，PCT在非感染性损伤（如创伤、手术）中也会升高[23]，特异性较低，其在SIC中的独立预测价值仍需进一步研究。

MPV是血小板活化的标志物之一。脓毒症患者中，MPV的升高与血小板活化密切相关，尤其是在炎症介质（如肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-6）的作用下，血小板体积增大，活性增强，释放更多的颗粒内容物，从而参与炎症和凝血反应的调控[24]。Vardon-Bounes等[25]研究发现，脓毒症非幸存者入院后MPV升高与90 d病死率显著相关，持续监测MPV可能是对脓毒症休克死亡风险进行分层的有效措施。另有研究提示，在脓毒症休克

病程中，血小板反应性明显受损，但表现为血小板计数仍在正常范围内，而MPV已经开始有升高的趋势[26]。本研究发现，SIC患儿的MPV显著升高，提示血小板活化及生成可能在SIC的发生中起重要作用。可能的机制包括：（1）血小板活化。脓毒症中炎症介质（如肿瘤坏死因子-α、白细胞介素-6）的释放可能激活血小板，导致MPV升高。（2）血小板消耗。SIC中血小板的消耗可能刺激骨髓释放更多年轻的、体积较大的血小板，从而导致MPV升高。MPV的升高可能作为SIC的早期预警指标，但其具体作用机制仍需进一步研究。

在成人Sepsis 3.0提出后，有学者将成人SOFA评分和儿童器官功能障碍2个评分进行整合，提出了pSOFA评分[15]。pSOFA评分是评估儿童脓毒症器官功能障碍的常用工具。pSOFA评分提出后，国内外不少研究者对它进行了验证，得到一致的结果：pSOFA评分≥2分对儿童脓毒症不良结局具有更好的判别能力[27-30]。pSOFA本身是pSIC评分内容之一[5]。本研究发现，pSOFA评分也是儿童SIC发生的独立预测因素，pSOFA评分越高，儿童SIC发生风险也随之增加，提示儿童SIC与多器官功能障碍及疾病的严重程度密切相关。pSOFA评分不仅是反映器官功能障碍的数量和严重程度的评分，还可作为预测SIC发生的重要工具。尽管pSOFA评分在评估儿童SIC中显示出潜在价值，但其在临床应用中的标准化和优化仍需进一步研究，以提高对SIC的早期诊断和预后评估的准确性。

本研究通过PCT、MPV、pSOFA评分构建了脓毒症患儿发生SIC的预测模型，并以可视化形式进行呈现。基于这3个指标构建的预测模型具有较好的区分度与准确度，预测效能良好，能有效识别SIC高风险患儿，在临床实践中对早期预警儿童SIC的发生具有重要的临床意义。尽管本研究揭示了PCT、MPV和pSOFA评分与儿童SIC的关系，但仍存在一些局限性：（1）样本量较小，可能影响结果的普适性；（2）本研究为单中心研究，同时排除了部分不符合纳入标准的病例，故可能存在选择偏倚，因而限制了模型的应用范围；（3）未进行外部验证。未来需要进行多中心及前瞻性验证研究，以进一步评估该模型的有效性和适用性。

综上，本研究结果表明，PCT、pSOFA评分和MPV与儿童SIC的发生和严重程度密切相关。这些指标可作为脓毒症患儿SIC发生的预测因素。未来的研究应进一步探讨其作用机制，并通过多中心、大样本研究验证其临床应用价值。

利益冲突声明：所有作者声明无利益冲突。

作者贡献声明：玛依热·买合木提负责采集数据、分析数据、撰写初稿；依帕古力·斯米江负责研究设计和论文修改。

［参 考 文 献］

[1] 陈雪婷, 钱素云. 全球儿童脓毒症流行病学及病原学研究进展[J]. 中华儿科杂志, 2019, 57(5): 380-383. PMID: 31060134. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2019.05.014.

[2] Gao Y, Fu Y, Guo E, et al. Novel nomogram for the prediction of sepsis-induced coagulopathy in the PICU: a multicentre retrospective study[J]. Thromb Res, 2024, 243: 109152. PMID: 39288599. DOI: 10.1016/j.thromres.2024.109152.

[3] Iba T, Nisio MD, Levy JH, et al. New criteria for sepsis-induced coagulopathy (SIC) following the revised sepsis definition: a retrospective analysis of a nationwide survey[J]. BMJ Open, 2017, 7(9): e017046. PMID: 28963294. PMCID: PMC5623518. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-017046.

[4] Iba T, Arakawa M, Di Nisio M, et al. Newly proposed sepsis-induced coagulopathy precedes international society on thrombosis and haemostasis overt-disseminated intravascular coagulation and predicts high mortality[J]. J Intensive Care Med, 2020, 35(7): 643-649. PMID: 29720054. DOI: 10.1177/0885066618773679.

[5] Xiang L, Ren H, Wang Y, et al. Clinical value of pediatric sepsis-induced coagulopathy score in diagnosis of sepsis-induced coagulopathy and prognosis in children[J]. J Thromb Haemost, 2021, 19(12): 2930-2937. PMID: 34407568. DOI: 10.1111/jth.15500.

[6] Jhang WK, Park SJ. Evaluation of sepsis-induced coagulopathy in critically ill pediatric patients with septic shock[J]. Thromb Haemost, 2021, 121(4): 457-463. PMID: 33124023. DOI: 10.1055/s-0040-1718736.

[7] Slatnick LR, Thornhill D, Deakyne Davies SJ, et al. Disseminated intravascular coagulation is an independent predictor of adverse outcomes in children in the emergency department with suspected sepsis[J]. J Pediatr, 2020, 225: 198-206.e2. PMID: 32553867. PMCID: PMC7529972. DOI: 10.1016/j.jpeds.2020.06.022.

[8] 李娟珍, 努尔加玛丽·则敏, 项龙. 脓毒症凝血病内皮分子机制的研究进展[J]. 中国小儿急救医学, 2024, 31(2): 136-140. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2024.02.011.

[9] 中华医学会儿科学分会急救学组, 中华医学会急诊医学分会儿科学组, 中国医师协会儿童重症医师分会. 儿童脓毒性休克（感染性休克）诊治专家共识（2015版）[J]. 中华儿科杂志, 2015, 53(8): 576-580. PMID: 26717653. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2015.08.007.

[10] Iba T, Helms J, Connors JM, et al. The pathophysiology, diagnosis, and management of sepsis-associated disseminated intravascular coagulation[J]. J Intensive Care, 2023, 11(1): 24. PMID: 37221630. PMCID: PMC10202753. DOI: 10.1186/s40560-023-00672-5.

[11] Iba T, Levy JH, Warkentin TE, et al. Diagnosis and management of sepsis-induced coagulopathy and disseminated intravascular coagulation[J]. J Thromb Haemost, 2019, 17(11): 1989-1994. PMID: 31410983. DOI: 10.1111/jth.14578.

[12] 朱为民, 黄丹红, 王巧红, 等. 脓毒症诱导凝血功能障碍对脓毒症患者预后的评估价值[J]. 中华急诊医学杂志, 2023, 32(6): 781-786. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.06.011.

[13] 曾举浩, 丁洪光, 钟文宏, 等. SIC 评分对脓毒症患者 30 d 死亡的预测价值[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34(12): 1263-1267. PMID: 36567580. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220830-00805.

[14] Iba T, Levi M, Thachil J, et al. Communication from the scientific and standardization committee of the international society on thrombosis and haemostasis on sepsis-induced coagulopathy in the management of sepsis[J]. J Thromb Haemost, 2023, 21(1): 145-153. PMID: 36695377. DOI: 10.1016/j.jtha.2022.10.022.

[15] Matics TJ, Sanchez-Pinto LN. Adaptation and validation of a pediatric sequential organ failure assessment score and evaluation of the sepsis-3 definitions in critically ill children[J]. JAMA Pediatr, 2017, 171(10): e172352. PMID: 28783810. PMCID: PMC6583375. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2017.2352.

[16] Schlapbach LJ, Watson RS, Sorce LR, et al. International consensus criteria for pediatric sepsis and septic shock[J]. JAMA, 2024, 331(8): 665-674. PMID: 38245889. PMCID: PMC10900966. DOI: 10.1001/jama.2024.0179.

[17] 周鑫, 徐炎松, 孙远松, 等. HMGB1、suPAR、WBC、PCT 在创伤脓毒症中的早期诊断及预后评估价值[J]. 中华急诊医学杂志, 2021, 30(8): 1015-1018. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2021.08.020.

[18] Schuetz P. How to best use procalcitonin to diagnose infections and manage antibiotic treatment[J]. Clin Chem Lab Med, 2022, 61(5): 822-828. PMID: 36317790. DOI: 10.1515/cclm-2022-1072.

[19] 蒋晶晶, 顾萍, 王成云, 等. 脓毒症患儿降钙素原和凝血功能指标变化及其临床意义[J]. 检验医学, 2024, 39(6): 573-577. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8640.2024.06.010.

[20] 王媛媛, 刘欧亚, 王刚. 脓毒症患者降钙素原、抗凝血酶Ⅲ、D-二聚体的变化及其临床意义[J]. 中华生物医学工程杂志, 2016, 22(6): 482-486. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-1927.2016.06.008.

[21] Levi M, van der Poll T. Inflammation and coagulation[J]. Crit Care Med, 2010, 38(2 Suppl): S26-S34. PMID: 20083910. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181c98d21.

[22] 潘萌萌, 韩铭欣, 宋维, 等. 脓毒症内皮功能障碍与凝血调节机制的研究进展[J]. 国际呼吸杂志, 2020, 40(9): 717-720. DOI: 10.3760/cma.j.cn131368-20190901-01227.

[23] Opal SM, Wittebole X. Biomarkers of infection and sepsis[J]. Crit Care Clin, 2020, 36(1): 11-22. PMID: 31733673. DOI: 10.1016/j.ccc.2019.08.002.

[24] Kim CH, Kim SJ, Lee MJ, et al. An increase in mean platelet volume from baseline is associated with mortality in patients with severe sepsis or septic shock[J]. PLoS One, 2015, 10(3): e0119437. PMID: 25742300. PMCID: PMC4350997. DOI: 10.1371/journal.pone.0119437.

[25] Vardon-Bounes F, Gratacap MP, Groyer S, et al. Kinetics of mean platelet volume predicts mortality in patients with septic shock[J]. PLoS One, 2019, 14(10): e0223553. PMID: 31622365. PMCID: PMC6797099. DOI: 10.1371/journal.pone.0223553.

[26] Díaz JM, Boietti BR, Vazquez FJ, et al. Mean platelet volume as a prognostic factor for venous thromboembolic disease[J]. Rev Med Chil, 2019, 147(2): 145-152. PMID: 31095161. DOI: 10.4067/s0034-98872019000200145.

[27] Wu Z, Liang Y, Li Z, et al. Accuracy comparison between age-adapted SOFA and SIRS in predicting in-hospital mortality of infected children at China's PICU[J]. Shock, 2019, 52(3): 347-352. PMID: 30211759. DOI: 10.1097/SHK.0000000000001261.

[28] Zhang X, Gui X, Yang K, et al. Prognostic performance of age-adapted SOFA and qSOFA in septic children[J]. Crit Care, 2019, 23(1): 333. PMID: 31665041. PMCID: PMC6819537. DOI: 10.1186/s13054-019-2609-0.

[29] Balamuth F, Scott HF, Weiss SL, et al. Validation of the pediatric Sequential Organ Failure Assessment score and evaluation of Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock Definitions in the pediatric emergency department[J]. JAMA Pediatr, 2022, 176(7): 672-678. PMID: 35575803. PMCID: PMC9112137. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2022.1301.

[30] 刘蓉, 于智彩, 肖长雪, 等. 不同方法对中国西南地区儿童重症监护病房脓毒症病死率的预测价值[J]. 中华儿科杂志, 2024, 62(3): 204-210. PMID: 38378280. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20231013-00282.

（本文编辑：邓芳明）

（版权所有©2025 中国当代儿科杂志）