

基于 ROC 曲线和 DCA 曲线分析 3 种评分系统对脓毒症患儿预后的预测价值

罗永田¹ 蒋支贵² 杨珍¹ 潘婷婷¹ 张菊¹ 蒲定红¹ 王大中² 孙慧¹

¹贵州医科大学附属医院 PICU, 贵阳 550000; ²习水县人民医院儿科, 遵义 564600

通信作者: 孙慧, Email: 514581665@qq.com

【摘要】 目的 探讨菲尼克斯脓毒症评分(PSS)、儿童序贯器官衰竭评分(pSOFA)和儿童器官功能障碍评分2(PELOD-2)评估脓毒症患儿疾病严重程度及预后的价值。方法 采用回顾性观察性研究方法,选择2021年6月至2024年4月贵州医科大学附属医院儿童重症监护病房(PICU)收治的226例脓毒症患儿作为研究对象。收集患儿的性别、年龄、体质量指数(BMI)、感染部位、是否接受机械通气、PICU住院时间、临床结局等资料,以及PSS、pSOFA、PELOD-2评分系统相关生理学参数。根据患儿入PICU 24 h内生理指标最差值计算3种重症评分。依据2024年国际共识标准,按照是否合并心血管功能障碍将患儿划分为脓毒症(无休克)和脓毒性休克;根据PICU住院期间临床结局将患儿分为存活组和死亡组。比较两组患儿临床资料的差异;采用受试者工作特征曲线(ROC曲线)评价3种评分系统对脓毒症(无休克)和脓毒性休克患儿PICU住院期间死亡风险,以及脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的预测价值。采用决策曲线分析(DCA)探讨3种评分系统预测脓毒症(无休克)和脓毒性休克患儿PICU住院期间死亡风险,以及脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的临床实用价值。结果 最终共纳入226例脓毒症患儿,PICU住院期间存活188例(占83.2%),死亡38例(占16.8%)。两组患儿性别、年龄、BMI、感染部位、PICU住院时间差异均无统计学意义;死亡组患儿脓毒性休克和机械通气比例,以及PSS、pSOFA、PELOD-2评分均高于存活组[脓毒性休克比例:84.2%(32/38)比23.4%(44/188),机械通气比例:97.4%(37/38)比24.5%(46/188),PSS评分(分):7.0(5.0, 8.3)比3.0(2.0, 3.0),pSOFA评分(分):8(5, 12)比3(2, 5),PELOD-2评分(分):6(5, 9)比2(0, 4),均 $P < 0.05$]。ROC曲线分析显示,PSS、pSOFA、PELOD-2评分预测脓毒症(无休克)患儿PICU住院期间死亡风险的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.924[95%置信区间(95%CI)为0.831~1.000]、0.666(95%CI为0.438~0.894)、0.915(95%CI为0.818~1.000),预测脓毒性休克患儿PICU住院期间死亡风险的AUC分别为0.863(95%CI为0.777~0.950)、0.818(95%CI为0.725~0.911)、0.947(95%CI为0.900~0.994),预测脓毒症(无休克)患儿发展为脓毒性休克的AUC分别为0.799(95%CI为0.731~0.866)、0.777(95%CI为0.707~0.847)、0.793(95%CI为0.733~0.856);DCA曲线显示,当脓毒症(无休克)患儿PICU住院期间死亡风险阈值为0.3时,3种评分系统作为紧急干预决策依据,患儿的净收益PSS评分(0.212)>PELOD-2评分(0.177)>pSOFA评分(0.074);当脓毒性休克患儿PICU住院期间死亡风险阈值为0.3时,3种评分作为紧急干预决策依据,患儿的净收益PELOD-2评分(0.213)>PSS评分(0.174)>pSOFA评分(0.124);当脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的风险阈值为0.3时,3种评分作为紧急干预决策依据,患儿的净收益PSS评分(0.159)>pSOFA评分(0.131)>PELOD-2评分(0.117)。结论 PSS、PELOD-2评分预测脓毒症(无休克)患儿PICU住院期间预后不良的价值较大,以PSS评分表现最佳;PSS、pSOFA、PELOD-2评分对脓毒性休克患儿PICU住院期间预后不良均具有较大的预测价值,以PELOD-2评分表现最佳;3种评分系统对脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的预测价值均为中等。

【关键词】 脓毒症;脓毒性休克;菲尼克斯脓毒症评分;儿童器官功能障碍评分2;儿童序贯器官衰竭评分;预后

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240904-00432

Predictive value of three scoring systems for pediatric sepsis prognosis: a receiver operator characteristic curve and decision curve analysis

Luo Yongtian¹, Jiang Zhigui², Yang Zhen¹, Pan Tingting¹, Zhang Ju¹, Pu Dinghong¹, Wang Dazhong¹, Sun Hui¹

¹Department of Pediatric Intensive Care Unit, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550000, China;

²Department of Pediatrics, Xishui County People's Hospital, Zunyi 564600, China

Corresponding author: Sun Hui, Email: 514581665@qq.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the value of the Phoenix Sepsis Score (PSS), pediatric Sequential Organ Failure Assessment (pSOFA) and PEdiatric Logistic Organ Dysfunction-2 (PELOD-2) in assessing disease severity and prognosis in children with sepsis. **Methods** A retrospective observational study was conducted. A total of 226 pediatric patients with sepsis admitted to pediatric intensive care unit (PICU) of the Affiliated Hospital of Guizhou Medical University from June 2021 to April 2024 were enrolled. The gender, age, body mass index (BMI), site of infection, mechanical ventilation requirement, length of PICU stay, and clinical outcome were extracted, together with

the physiological variables required by PSS, pSOFA and PELOD-2 scoring systems. The three critical scores were calculated with the worst values of physiological indicators obtained within 24 hours after PICU admission. According to the 2024 international consensus, children were classified as sepsis (without shock) or septic shock depending on the presence of cardiovascular dysfunction. They were further divided into survivors and non-survivors based on the outcome during PICU hospitalization. Clinical characteristics were compared between the two groups. Receiver operator characteristic curve (ROC curve) was used to assess the ability of the three scoring systems to predict death risk during PICU hospitalization in sepsis without shock and in septic shock, as well as progression from sepsis without shock to septic shock. Decision curve analysis (DCA) was employed to examine the clinical utility of the three scoring systems for predicting death risk during PICU hospitalization in children with sepsis without shock and in those with septic shock, as well as progression from sepsis without shock to septic shock. **Results** A total of 226 pediatric patients with sepsis were ultimately included; 188 (83.2%) survived during PICU hospitalization and 38 (16.8%) died. No significant differences were observed between survivors and non-survivors in gender, age, BMI, site of infection, or length of PICU stay. Non-survivors exhibited higher rates of septic shock and mechanical ventilation, together with higher PSS, pSOFA and PELOD-2 scores, than survivors [septic shock: 84.2% (32/38) vs. 23.4% (44/188), mechanical ventilation: 97.4% (37/38) vs. 24.5% (46/188), PSS score: 7.0 (5.0, 8.3) vs. 3.0 (2.0, 3.0), pSOFA score: 8 (5, 12) vs. 3 (2, 5), PELOD-2 score: 6 (5, 9) vs. 2 (0, 4), all $P < 0.05$]. ROC curve analysis showed that the area under the ROC curve (AUC) of PSS, pSOFA, and PELOD-2 scores for predicting death risk during PICU hospitalization in the pediatric patients with sepsis without shock was 0.924 [95% confidence interval (95%CI) was 0.831–1.000], 0.666 (95%CI was 0.438–0.894), and 0.915 (95%CI was 0.818–1.000), respectively. The AUC of PSS, pSOFA, and PELOD-2 scores for predicting death risk during PICU hospitalization in the pediatric patients with septic shock was 0.863 (95%CI was 0.777–0.950), 0.818 (95%CI was 0.725–0.911), and 0.947 (95%CI was 0.900–0.994), respectively. The AUC of PSS, pSOFA, and PELOD-2 scores for predicting progression from sepsis without shock to septic shock in the pediatric patients was 0.799 (95%CI was 0.731–0.866), 0.777 (95%CI was 0.707–0.847), and 0.793 (95%CI was 0.733–0.856), respectively. DCA curve showed that when the death risk threshold during PICU hospitalization in the pediatric patients with sepsis without shock reached 0.3, the net benefit of the three scoring systems as triggers for emergency intervention ranked PSS score (0.212) > PELOD-2 score (0.177) > pSOFA score (0.074). When the death risk threshold during PICU hospitalization in the pediatric patients with septic shock reached 0.3, the net benefit of the three scoring systems as triggers for emergency intervention ranked PELOD-2 score (0.213) > PSS score (0.174) > pSOFA score (0.124). When the risk threshold of progression from sepsis without shock to septic shock in the pediatric patients reached 0.3, the net benefit of the three scoring systems as triggers for emergency intervention ranked PSS score (0.159) > pSOFA score (0.131) > PELOD-2 score (0.117). **Conclusions** PSS and PELOD-2 scores demonstrate high value for predicting poor outcomes during PICU hospitalization in children with sepsis without shock, with PSS score performing best. PSS, pSOFA and PELOD-2 scores show high predictive value for poor prognosis during PICU hospitalization in septic shock, among which PELOD-2 score performs best. The predictive value of the three scoring systems for progression from sepsis without shock to septic shock is moderate.

[Key words] Sepsis; Septic shock; Phoenix Sepsis Score; Pediatric Logistic Organ Dysfunction-2; Pediatric Sequential Organ Failure Assessment; Prognosis

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240904-00432

脓毒症是指机体对感染反应失调而导致的危及生命的器官功能障碍^[1], 目前已经成为威胁人类健康的严重并发症之一^[2]。儿童脓毒症具有进展快、预后差的特点, 因此, 早期识别、准确评估病情并积极采取有效的治疗措施, 对于改善患儿的预后具有重要的意义^[3-4]。

目前, 临床常用于评估儿童脓毒症疾病严重程度及预后的评分系统主要包括儿童序贯器官衰竭评分 (pediatric Sequential Organ Failure Assessment, pSOFA)^[4-5]、儿童器官功能障碍评分 2 (PEdiatric Logistic Organ Dysfunction-2, PELOD-2)。2024 年国际儿童共识更新了儿童脓毒症和脓毒性休克的诊断标准, 并采用新型菲尼克斯脓毒症评分 (Phoenix Sepsis Score, PSS) 诊断脓毒症和脓毒性休克, 而不再使用“全身炎症反应综合征”的概念, 同时取消了“严重

脓毒症”的诊断^[6]。目前有关 PELOD-2、pSOFA 和 PSS 3 种评分系统应用价值比较的研究较少。因此, 本研究通过回顾性分析比较了 PELOD-2、pSOFA 和 PSS 这 3 种评分系统在儿童重症监护病房 (pediatric intensive care unit, PICU) 收治的脓毒症患儿病情严重程度及预后评估中的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 采用回顾性观察性研究方法, 选择 2021 年 6 月至 2024 年 4 月贵州医科大学附属医院 PICU 收治的 226 例脓毒症患儿作为研究对象。

1.1.1 纳入标准: ① 符合美国重症医学会 2024 年 1 月发布的《国际共识标准: 儿童脓毒症和脓毒性休克》^[6]; ② 年龄 28 d 至 18 岁。

1.1.2 排除标准: ① PICU 住院时间 < 24 h; ② 临床资料不完整。

1.2 伦理学: 本研究符合医学伦理学标准,并通过贵州医科大学附属医院医学伦理委员会的伦理审查(审批号:2024826),所有治疗及检测均获得过患儿家属的知情同意。

1.3 数据收集及分组: 收集患儿的性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、感染部位(血液、呼吸系统、神经系统、消化系统、泌尿系统、皮肤软组织、其他)、是否接受机械通气、PICU 住院时间、临床结局等资料,以及 PSS、pSOFA、PELOD-2 评分系统相关生理学参数。根据患儿入 PICU 24 h 内生理指标最差值计算 3 种重症评分。

依据 2024 年国际共识标准,按照是否合并心血管功能障碍将患儿划分为脓毒症(无休克)和脓毒性休克^[6];根据患儿 PICU 住院期间的临床结局分为存活组和死亡组。

1.4 评分工具

1.4.1 PSS 评分: PSS 评分项目包括呼吸、心血管、凝血和神经系统功能障碍,总分至少 2 分,可以确定疑似感染的儿童[年龄 < 18 岁,排除围生期住院的新生儿及早产儿(< 37 周)]是否存在脓毒症;脓毒性休克定义为 PSS 评分项目中,心血管评分至少 1 分的脓毒症(无休克)。

1.4.2 pSOFA 评分: pSOFA 是在原有序贯器官衰竭评分(Sequential Organ Failure Assessment, SOFA)基础上,经年龄适应性修改制定的评分系统^[7]。pSOFA 评分越高,代表病情越危重,预后也就越差。

1.4.3 PELOD-2 评分: PELOD-2 评分系统通常用于评估疑似感染的住院患者的器官功能障碍,包括呼吸、心血管、中枢神经、血液、肾脏 5 个系统或器官功能。PELOD-2 评分最高 33 分。PELOD-2 评分越高,提示病情越重^[6]。

1.5 统计学方法: 所有资料均使用 SPSS 27.0 统计软件进行数据的分析与处理。先针对定量资料进行正态性检验,提示均为非正态分布,以中位数(四分位数)[$M(Q_1, Q_3)$]表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。定性资料用频数(百分比)[例(%)]表示,组间比较采用 χ^2 检验。绘制受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC 曲线),并采用 ROC 曲线下面积(area under the ROC curve, AUC)检验 PSS、pSOFA、PELOD-2 评分对脓毒症(无休克)及脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险,以及脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的预测效能,计算约登指数、最佳截断值、敏感度和特异度。如

AUC ≤ 0.7 则表明该评分工具的预测价值较小;如 $0.9 \geq AUC > 0.7$ 则表明该评分工具的预测价值中等;如 $AUC > 0.9$ 则表明该评分工具的预测价值较大。采用约登指数法计算最佳截断值,以 $\alpha = 0.05$ 作为检验水准(双侧)。应用 R 语言软件 4.4.1 对 3 种评分系统进行决策曲线分析(decision curve analysis, DCA),计算相应风险下的标准化净收益,评价 3 种评分系统的临床实用价值。

2 结果

2.1 患儿一般临床特征(表 1): 最终共纳入 226 例脓毒症患儿,其中男性 153 例(占 67.7%),女性 73 例(占 32.3%);年龄为 36.0(10.5, 96.0)个月;BMI 为 15.58(14.34, 19.57) kg/m^2 ;感染部位以呼吸系统最常见(35.4%),其次为血液(22.1%)、消化系统(11.1%)等;PICU 住院时间 5(3, 8)d。226 例患儿中,脓毒性休克占 33.6%;PICU 住院期间存活 188 例(占 83.2%),死亡 38 例(占 16.8%)。

表 1 226 例脓毒症患儿一般临床特征

指标	数值	指标	数值
男性[例(%)]	153(67.7)	脓毒症分类 [例(%)]	
年龄[月, $M(Q_1, Q_3)$]	36.0 (10.5, 96.0)	脓毒症(无休克)	150(66.4)
BMI [kg/m^2 , $M(Q_1, Q_3)$]	15.58 (14.34, 19.57)	脓毒性休克	76(33.6)
感染部位[例(%)]		机械通气[例(%)]	83(36.7)
血液	50(22.1)	PICU 住院时间 [d, $M(Q_1, Q_3)$]	5(3, 8)
呼吸系统	80(35.4)	PICU 住院期间 临床结局 [例(%)]	
神经系统	22(9.7)	存活	188(83.2)
消化系统	25(11.1)	死亡	38(16.8)
泌尿系统	9(4.0)		
皮肤软组织	16(7.1)		
其他	23(10.2)		

注: BMI 为体质质量指数, PICU 为儿童重症监护病房

2.2 PICU 住院期间不同临床结局脓毒症患儿临床特征比较(表 2): 死亡组患儿脓毒性休克和机械通气比例,以及 PSS、pSOFA、PELOD-2 评分均高于存活组(均 $P < 0.05$);而两组患儿性别、年龄、BMI、感染部位、PICU 住院时间比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

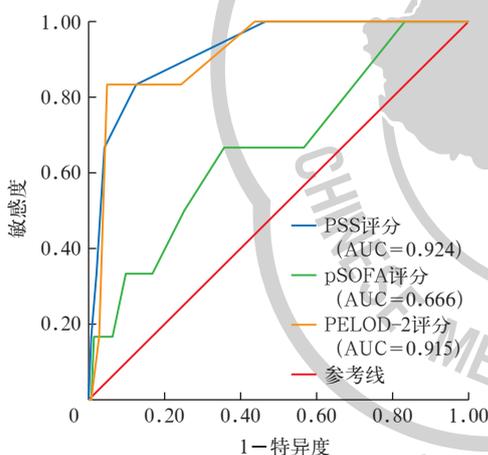
2.3 3 种评分系统对脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测价值(图 1;表 3): ROC 曲线分析显示, PSS、pSOFA、PELOD-2 评分对脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间死亡风险均有一定预测价值,其中 pSOFA 评分的价值较小,而 PSS、PELOD-2 评分则能较好地预测脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间死亡风险(AUC 均 > 0.9),且以 PSS 评分的预

表 2 PICU 住院期间不同临床结局两组脓毒症患儿临床资料比较

指标	存活组 (188 例)	死亡组 (38 例)	统计 量值	P 值	指标	存活组 (188 例)	死亡组 (38 例)	统计 量值	P 值
男性 [例 (%)]	124 (66.0)	29 (76.3)	$\chi^2=1.551$	0.213	脓毒症分类 [例 (%)]			$\chi^2=49.676$	<0.001
年龄 [月, $M(Q_1, Q_3)$]	36.0 (12.0, 96.0)	30.0 (7.8, 156.0)	$Z=-0.090$	0.928	脓毒症 (无休克)	144 (76.6)	6 (15.8)		
BMI [kg/m^2 , $M(Q_1, Q_3)$]	15.58 (14.24, 17.72)	15.64 (14.98, 18.71)	$Z=1.199$	0.231	脓毒性休克	44 (23.4)	32 (84.2)		
感染部位 [例 (%)]			$\chi^2=4.400$	0.054	机械通气 [例 (%)]	46 (24.5)	37 (97.4)	$\chi^2=72.293$	<0.001
血液	40 (21.3)	10 (26.3)			PICU 住院时间 [d, $M(Q_1, Q_3)$]	5.0 (3.0, 8.5)	5.0 (2.5, 7.5)	$Z=-1.159$	0.246
呼吸系统	65 (34.6)	15 (39.5)			PSS 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$]	3.0 (2.0, 3.0)	7.0 (5.0, 8.3)	$Z=8.546$	<0.001
神经系统	16 (8.5)	6 (15.8)			pSOFA 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$]	3 (2, 5)	8 (5, 12)	$Z=-6.503$	<0.001
消化系统	24 (12.8)	1 (2.6)			PELOD-2 评分 [分, $M(Q_1, Q_3)$]	2 (0, 4)	6 (5, 9)	$Z=9.023$	<0.001
泌尿系统	9 (4.8)	0 (0)							
皮肤软组织	13 (6.9)	3 (7.9)							
其他	20 (10.6)	3 (7.9)							

注: PICU 为儿童重症监护病房, BMI 为体质量指数, PSS 为菲尼克斯脓毒症评分, pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分, PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2

测价值更大, 当最佳截断值为 3.5 分时, 敏感度和特异度分别为 83.3%、87.4%。



注: PICU 为儿童重症监护病房, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, PSS 为菲尼克斯脓毒症评分, pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分, PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 1 3 种评分系统预测脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间死亡风险的 ROC 曲线

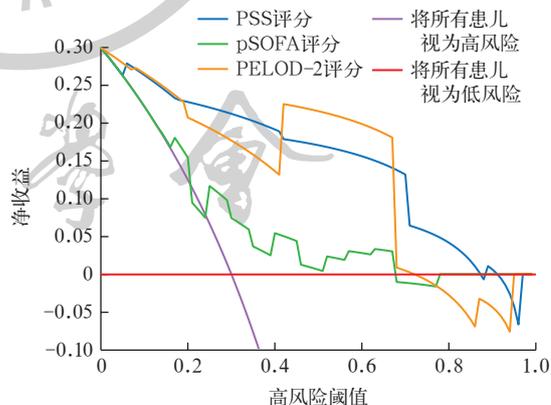
表 3 3 种评分系统对脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测效能

评分系统	AUC	95%CI	P 值
PSS 评分	0.924	0.831 ~ 1.000	<0.001
pSOFA 评分	0.666	0.438 ~ 0.894	0.169
PELOD-2 评分	0.915	0.818 ~ 1.000	0.001

评分系统	最佳截断值	约登指数	敏感度 (%)	特异度 (%)
PSS 评分	3.5	0.707	83.3	87.4
pSOFA 评分	4.5	0.248	50.0	74.8
PELOD-2 评分	4.5	0.784	83.3	95.1

注: PICU 为儿童重症监护病房, PSS 为菲尼克斯脓毒症评分, pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分, PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2, AUC 为受试者工作特征曲线下面积, 95%CI 为 95% 置信区间

2.4 3 种评分系统预测脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间死亡风险的临床实用价值 (图 2): DCA 曲线显示, 当脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间的死亡风险阈值为 0.3 时, PSS、pSOFA、PELOD-2 评分的净收益分别为 0.212、0.074、0.177。3 种评分的净收益均高于“将所有患儿视为低风险”的策略, 其中以 PSS 评分的净收益最高, 提示临床实用价值最大; 进一步分析显示, 在 0.1 ~ 0.5 常用风险阈值范围内, PSS 评分的净收益曲线始终位于最上方, 表明其在广泛的决策阈值下, 对脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间死亡风险均具有较好的临床应用价值。

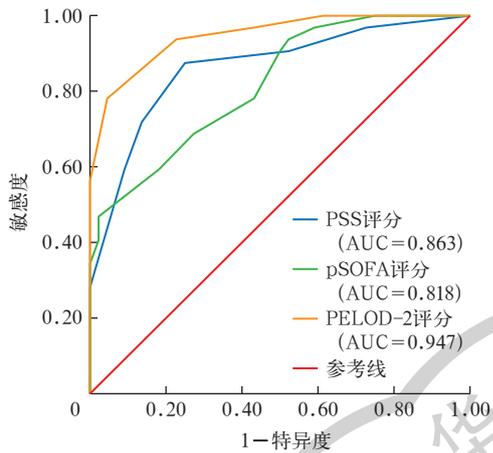


注: PICU 为儿童重症监护病房, DCA 为决策曲线分析, PSS 为菲尼克斯脓毒症评分, pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分, PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2

图 2 3 种评分系统预测脓毒症 (无休克) 患儿 PICU 住院期间死亡风险的 DCA 曲线

2.5 3 种评分系统对脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测价值 (图 3; 表 4): ROC 曲线分析显示, PSS、pSOFA、PELOD-2 评分对脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险均具有较大的预测价

值(AUC 均>0.8),且以 PELOD-2 评分的预测价值更大,当最佳截断值为 5.5 分时,敏感度和特异度分别为 78.1%、95.5%。



注:PICU 为儿童重症监护病房,ROC 曲线为受试者工作特征曲线,PSS 为菲尼克斯脓毒症评分,pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分,PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 3 3 种评分系统预测脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险的 ROC 曲线

表 4 3 种评分系统对脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测效能

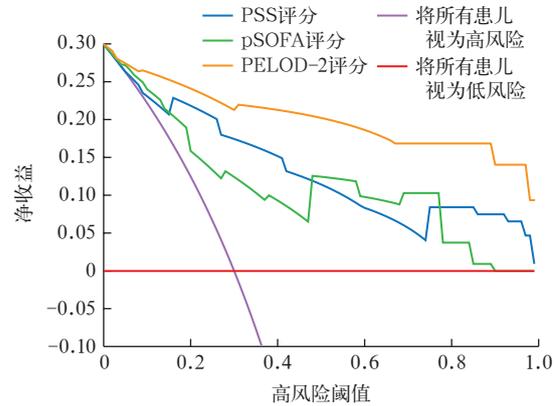
评分系统	AUC	95%CI	P 值
PSS 评分	0.863	0.777 ~ 0.950	<0.001
pSOFA 评分	0.818	0.725 ~ 0.911	<0.001
PELOD-2 评分	0.947	0.900 ~ 0.994	<0.001

评分系统	最佳截断值	约登指数	敏感度 (%)	特异度 (%)
PSS 评分	4.5	0.625	87.5	75.0
pSOFA 评分	9.5	0.446	46.9	97.7
PELOD-2 评分	5.5	0.736	78.1	95.5

注:PICU 为儿童重症监护病房,PSS 为菲尼克斯脓毒症评分,pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分,PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2, AUC 为受试者工作特征曲线下面积,95%CI 为 95% 置信区间

2.6 3 种评分系统预测脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险的临床实用价值(图 4):DCA 曲线显示,当脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡的风险阈值为 0.3 时,PSS、pSOFA、PELOD-2 评分的净收益分别为 0.174、0.124、0.213。3 种评分的净收益均高于“将所有患儿视为低风险”的策略,其中以 PELOD-2 评分表现最佳,PSS 评分次之但仍具有良好的应用价值。

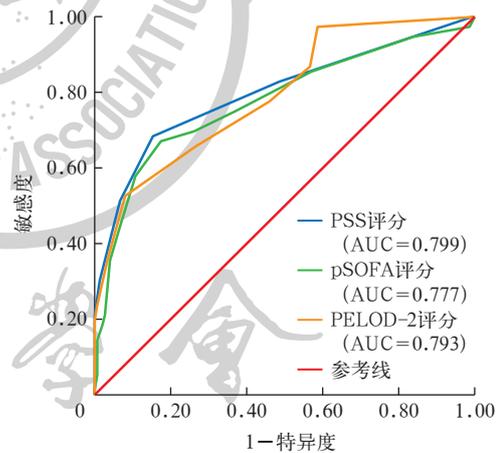
值得注意的是,与针对脓毒症(无休克)患儿的分析中得出的 PSS 评分用于预测 PICU 住院期间死亡风险表现最佳的结果不同,在脓毒性休克患儿中 PELOD-2 评分更具优势。



注:PICU 为儿童重症监护病房,DCA 为决策曲线分析,PSS 为菲尼克斯脓毒症评分,pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分,PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2

图 4 3 种评分系统预测脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险的 DCA 曲线

2.7 3 种评分系统对脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的预测价值(图 5;表 5):ROC 曲线分析显示,PSS、pSOFA、PELOD-2 评分对 PICU 收治的脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克均具有中等预测价值(0.9≥AUC>0.7),且以 PSS 评分的预测价值相对更大,当最佳截断值为 4.5 分时,敏感度和特异度分别为 51.3%、93.3%。



注:ROC 曲线为受试者工作特征曲线,PSS 为菲尼克斯脓毒症评分,pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分,PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 5 3 种评分系统预测脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的 ROC 曲线

2.8 3 种评分系统预测脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的临床实用价值(图 6):DCA 曲线显示,当脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的风险阈值为 0.3 时,PSS、pSOFA、PELOD-2 评分的净收益分别为 0.159、0.131、0.117。3 种评分的净收益均高于“将所有患儿视为低风险”的策略,其中以 PSS 评分的净收益最高,表明其在识别可能进展为脓毒性

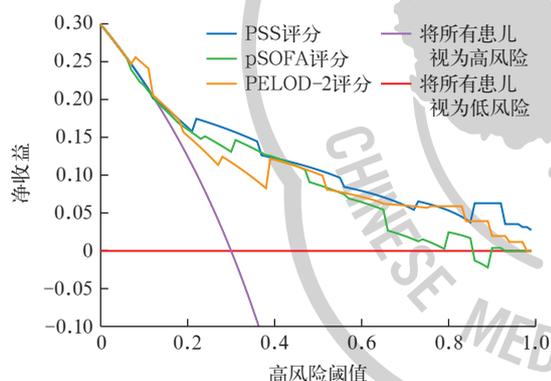
休克的脓毒症患儿方面最具临床实用价值；进一步分析显示，在 0.1 ~ 0.5 的常用风险阈值范围内，PSS 评分的净收益曲线始终位于最上方，支持其作为脓毒症（无休克）患儿进展为脓毒性休克早期预警工具的应用优势。

表 5 3 种评分系统对脓毒症（无休克）患儿进展为脓毒性休克的预测效能

评分系统	AUC	95%CI	P 值
PSS 评分	0.799	0.731 ~ 0.866	<0.001
pSOFA 评分	0.777	0.707 ~ 0.847	<0.001
PELOD-2 评分	0.793	0.733 ~ 0.856	<0.001

评分系统	最佳截断值	约登指数	敏感度 (%)	特异度 (%)
PSS 评分	4.5	0.446	51.3	93.3
pSOFA 评分	5.5	0.497	67.1	82.6
PELOD-2 评分	4.5	0.445	52.6	91.9

注：PSS 为菲尼克斯脓毒症评分，pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分，PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2，AUC 为受试者工作特征曲线下面积，95%CI 为 95% 置信区间



注：DCA 为决策曲线分析，PSS 为菲尼克斯脓毒症评分，pSOFA 为儿童序贯器官衰竭评分，PELOD-2 为儿童器官功能障碍评分 2

图 6 3 种评分系统预测脓毒症（无休克）患儿进展为脓毒性休克的 DCA 曲线

3 讨论

脓毒症在 PICU 中是一种常见且频发的疾病，具有高发病率、高病死率的特点。有文献报道，在全球范围内，2019 年约有 4 890 万例脓毒症患者，其中约 1 100 万例患者因脓毒症及其相关并发症而死亡；儿童脓毒症患者的数量达到 2 000 万例，而 5 岁以下儿童因脓毒症死亡的人数已高达 290 万例，占全球总死亡人数的 19.7%^[8]。我国脓毒症的发病率和病死率也较高^[9]。因此，脓毒症已成为儿童住院治疗 and 死亡的主要原因之一^[10]。

研究显示，儿童脓毒症是 PICU 中的常见危重症之一，其预后，尤其是脓毒性休克患儿的预后，仍然严峻^[11]。为改善预后，早期识别高危患儿并准确评

估其严重程度至关重要。本研究纳入的 226 例脓毒症患儿中，总体病死率为 16.8%，其中脓毒性休克患儿的病死率[42.1%(32/76)]高于脓毒症（无休克）患儿[4.0%(6/150)]。这凸显了开发或验证能够精准预测不同严重程度脓毒症患儿（特别是脓毒性休克患儿）预后的临床工具的紧迫性与价值。因此，本研究旨在评估 PSS、pSOFA、PELOD-2 3 种评分系统在此背景下的预测效能。

重症评分是当前临床实践中广泛应用于评估儿童脓毒症病情严重程度及预后的工具。重症评分系统通过对疾病相关的辅助检查结果及临床体征进行加权或赋值，从而实现对危重症患者的疾病严重程度的量化评估。这种方法不仅能够客观地反映治疗效果，还能够为疾病的预后提供重要的参考依据^[12-14]。2013 年，研究者在 PELOD 评分的基础上开发了 PELOD-2 评分，剔除了肝功能参数，同时增加了反映心血管功能不全的平均动脉压（mean arterial pressure, MAP）和血乳酸（lactic acid, Lac）两个参数，并发现 PELOD-2 评分对 3 671 例脓毒症患儿死亡风险的预测价值和校准度均良好（AUC=0.934；拟合优度检验： $\chi^2=9.31, P=0.317$ ）^[15]。本研究显示，PELOD-2 评分对脓毒症（无休克）、脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险均有很好的预测价值（AUC 分别为 0.915、0.947），对脓毒症（无休克）患儿进展为脓毒性休克具有中等预测价值（AUC 为 0.793）；DCA 曲线显示，PELOD-2 评分作为临床决策辅助工具，当脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡的风险阈值为 0.3 时，净收益最高，提示 PELOD-2 评分在预测脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险中的实用价值更大，在儿童脓毒症风险评估中同样具有很好的应用前景。

2016 年发布的 Sepsis-3 摒弃了“全身炎症反应综合征”作为诊断脓毒症的标准，而改用 SOFA 评分作为脓毒症诊断中评估器官功能的方法^[1]。考虑到成人与儿童在年龄相关病理生理学和临床表现方面的差异，Matics 和 Sanchez-Pinto^[7]提出了 pSOFA 评分。Zhong 等^[16]回顾性分析了 516 例脓毒症患儿的临床数据，通过 ROC 曲线分析发现，pSOFA 评分对脓毒症患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测价值大于 PELOD-2 评分。本研究显示，pSOFA 评分对脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险具有中等预测价值（AUC 为 0.818），对脓毒症（无休克）患儿 PICU 住院期间死亡风险的预测价值较小（AUC<0.7），对

脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克也具有中等预测价值(AUC=0.777);DCA 曲线显示,pSOFA 评分作为临床决策辅助工具,在脓毒症(无休克)、脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险阈值为 0.3 时,净收益均最低,可能与研究本身的异质性、样本量等有关。

2024 年国际儿童共识更新并评估了儿童脓毒症和脓毒性休克的诊断标准,采用 PSS 评分(包括呼吸、心血管、凝血和神经系统功能障碍)至少 2 分确定疑似感染的儿童[年龄<18 岁,排除围生期住院的新生儿及早产儿(<37 周)]是否存在脓毒症;脓毒性休克定义为 PSS 评分项目中,心血管评分至少 1 分的脓毒症(无休克)。该标准不再使用“全身炎症反应综合征”的概念,也取消了“严重脓毒症”的诊断^[1]。本研究显示,PSS 评分越高,脓毒症患儿病情越重,PICU 住院期间预后也更差;ROC 曲线分析显示,PSS 评分对脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间死亡风险及脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的预测价值均较大(AUC 分别为 0.924、0.799),且优于 pSOFA、PELOD-2 评分,对脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险具有中等预测价值(AUC 为 0.863),仅次于 PELOD-2 评分;DCA 曲线显示,PSS 评分作为临床决策辅助工具,在脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间死亡及脓毒症(无休克)患儿进展为脓毒性休克的风险阈值为 0.3 时,净收益最高,在预测脓毒性休克患儿 PICU 住院期间死亡风险时仅次于 PELOD-2 评分,说明 PSS 评分能够较准确地预测脓毒症(无休克)患儿 PICU 住院期间预后,具有临床实用价值。

综上所述,PSS、pSOFA、PELOD-2 评分对所有类型脓毒症患儿 PICU 住院期间预后不良均具有一定预测价值,其中 PSS 评分与 PELOD-2 评分的表现更佳。然而,本研究为单中心回顾性分析,样本量有限,结论有待多中心、前瞻性研究进一步验证。现有评分系统虽便于快速评估,但其参数相对有限,预测效能仍有提升空间。未来研究可借鉴成人领域经验,如蒋子鸣等^[17]基于大型数据库构建多变量预后模型的思路,通过建立儿童脓毒症专属数据库,整合更多临床与实验室指标,利用机器学习等统计方法开发个体化预测工具,从而更精准地进行风险分层,改善患儿预后。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 罗永田: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分

析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析;蒋支贵、王大中: 酝酿和设计实验、起草文章;杨珍: 酝酿和设计实验、采集数据;潘婷婷、蒲定红: 采集数据、统计分析;张菊: 实施研究、采集数据;孙慧: 酝酿和设计实验、实施研究、起草文章、获取研究经费

致谢 感谢在本次科研及论文写作过程中,科室同事的指导和大力支持

参考文献

- [1] Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3)[J]. *JAMA*, 2016, 315(8): 801-810. DOI: 10.1001/jama.2016.0287.
- [2] Xiao CX, Wang S, Fang F, et al. Epidemiology of pediatric severe sepsis in main picu centers in southwest China[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2019, 20(12): 1118-1125. DOI: 10.1097/PCC.0000000000002079.
- [3] Fleischmann-Struzek C, Goldfarb DM, Schlattmann P, et al. The global burden of paediatric and neonatal sepsis: a systematic review[J]. *Lancet Respir Med*, 2018, 6(3): 223-230. DOI: 10.1016/S2213-2600(18)30063-8.
- [4] 张铮铮,彭纯颖,杨雪,等.动态监测儿童序贯器官衰竭评分对儿童脓毒症预后的预测价值[J]. *中国小儿急救医学*, 2022, 29(9): 686-690. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2022.09.005.
- [5] 关向飞,刘春峰.儿童序贯器官衰竭评分对小儿重症监护病房感染患儿的诊断和预后判断价值[J]. *中国小儿急救医学*, 2021, 28(5): 385-388. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2021.05.009.
- [6] Society of Critical Care Medicine Pediatric Sepsis Definition Task Force. International consensus criteria for pediatric sepsis and septic shock[J]. *JAMA*, 2024, 331(8): 665-674. DOI: 10.1001/jama.2024.0179.
- [7] 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. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2017.2352.
- [8] Rudd KE, Johnson SC, Agesa KM, et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990-2017: analysis for the Global Burden of Disease Study[J]. *Lancet*, 2020, 395(10219): 200-211. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32989-7.
- [9] Liu YC, Yao Y, Yu MM, et al. Frequency and mortality of sepsis and septic shock in China: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Infect Dis*, 2022, 22(1): 564. DOI: 10.1186/s12879-022-07543-8.
- [10] 洪婧娴,罗征秀.儿童脓毒性休克的诊治进展[J]. *临床医学进展*, 2024, 14(4): 1689-1694. DOI: 10.12677/acm.2024.1441211.
- [11] Wang S, Yin F, Zhang YY, et al. Epidemiology and clinical characteristics of pediatric sepsis in PICUs of China: a national cross-sectional study[J]. *MedComm (2020)*, 2023, 4(1): e211. DOI: 10.1002/mco.2211.
- [12] 江学成.危重疾病严重程度评分临床应用和意义[J]. *中国危重病急救医学*, 2000, 12(4): 195-197. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1008-6315.2000.04.032.
- [13] 周利兵,陈娇,杜晓晨,等.探讨 3 种评分系统对儿童严重脓毒症预后的评估价值[J]. *中国当代儿科杂志*, 2019, 21(9): 898-903. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2019.09.011.
- [14] 李玉娜,王文珍,杨春风,等.四种重症评分系统对脓毒症患儿预后预测价值的比较[J]. *中国小儿急救医学*, 2024, 31(3): 200-205. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2024.03.009.
- [15] Groupe Francophone de Réanimation et d'Urgences Pédiatriques (GFRUP). PELOD-2: an update of the PEdiatric logistic organ dysfunction score[J]. *Crit Care Med*, 2013, 41(7): 1761-1773. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31828a2bbd.
- [16] Zhong ML, Huang YG, Li TF, et al. Day-1 PELOD-2 and day-1 "quick" PELOD-2 scores in children with sepsis in the PICU[J]. *J Pediatr (Rio J)*, 2020, 96(5): 660-665. DOI: 10.1016/j.jpeds.2019.07.007.
- [17] 蒋子鸣,王洪亮,王素梅,等.重症监护病房脓毒症患者预后模型构建与评估[J]. *中华危重病急救医学*, 2023, 35(8): 800-806. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20230103-00003.

(收稿日期: 2024-09-04)

(本文编辑: 孙茜 张耘菲)