

# 彩色多普勒超声对脓毒症患儿急性肾损伤的严重程度和预后的评估价值

彭 娅, 杨 芳, 徐香芬, 张 杰, 刘金桥

(湖南省儿童医院超声科, 湖南 长沙 410007)

**[摘要]** 目的:探讨彩色多普勒超声对脓毒症相关急性肾损伤(Sepsis-induced acute kidney injury, S-AKI)患儿的严重程度和预后的评估价值。方法:选取我院 2019 年 12 月—2023 年 7 月期间收治的 80 例 S-AKI 患儿,分为 1 期组(17 例),2 期组(25 例)和 3 期组(38 例)。另选取 30 名脓毒症未发生 AKI 患儿为对照组。对所有入选患儿行肾脏彩色多普勒超声检查,记录肾实质回声,肾脏厚/长比值,右肾叶间动脉阻力指数(Renal resistive index, RRI),并收集相关临床资料。比较不同组间患儿的相关临床指标和超声参数的差异。分析 S-AKI 患儿的 RRI 值、肾脏厚/长比值、血肌酐(Serum creatinine, SCr)和连续肾脏替代疗法(Continuous renal replacement therapy, CRRT)的相关性。分析各因素对 S-AKI 患儿 28 天死亡结局和长期行 CRRT(>3d)的影响。结果:2 期组和 3 期组患儿的 RRI 值高于 1 期组和对照组患儿( $P<0.05$ ),3 期组患儿的肾实质回声增强比例高于对照组和 1 期组,2 期组患儿的肾实质回声增强比例高于对照组( $P<0.05$ )。3 期组患儿的肾脏厚/长比值高于其余各组( $P<0.05$ );RRI 值、SCr 与 CRRT 天数呈显著正相关( $r=0.356, 0.576, P<0.05$ );小儿危重病例评分对 S-AKI 患儿 28 天死亡结局具有显著负向影响( $P<0.05$ );RRI、血乳酸与 S-AKI 患儿 28 天死亡结局密切相关( $P<0.05$ ),RRI 值和 SCr 与 S-AKI 患儿长期行连续肾脏替代疗法(>3d)结局密切相关( $P<0.05$ )。结论:肾脏彩色多普勒超声可以监测 S-AKI 患儿的肾脏血流动力学改变,评估脓毒症患儿发生 AKI 的严重程度和预后。

**[关键词]** 急性肾损伤;超声检查,多普勒,彩色

**[中图分类号]** R692;R445.1

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1008-1062(2024)10-0716-05

DOI:10.12117/jccmi.2024.10.007

## Value of color Doppler ultrasound in evaluating the severity and prognosis of pediatric patients with sepsis-induced acute kidney injury

PENG Ya, YANG Fang, XU Xiang-fen, ZHANG Jie, LIU Jin-qiao

(Ultrasound Department of Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China)

**Abstract: Objective:** To investigate the value of color Doppler ultrasound in evaluating the severity and prognosis of pediatric patients with sepsis-induced acute kidney injury (S-AKI). **Methods:** From December 2019 to July 2023, 80 pediatric patients in our hospital diagnosed with S-AKI were divided into 3 groups: stage 1 group( $n=17$ ), stage 2 group( $n=25$ ) and stage 3 group( $n=38$ ). Thirty septic pediatric patients without AKI were enrolled as the control group. The increase in kidney echogenicity, the ratio of thickness to length, the renal resistive index(RRI), and the clinical data of all the patients were recorded and compared. The relationship between the values of RRI, the ratio of thickness to length, the level of serum creatinine(SCr), and the days of continuous renal replacement therapy (CRRT) were analyzed. The risk factors for death within 28 days and long-term CRRT of pediatric S-AKI patients were also analyzed. **Results:** The values of RRI were higher in the stage 2 group and stage 3 group than those in the stage 1 group and the control group ( $P<0.05$ ). The increase in kidney echogenicity was higher in the stage 3 group than in the stage 1 group and the control group, and in the stage 2 group than in the control group( $P<0.05$ ). The ratio of thickness to length was higher in the stage 3 group than in the rest groups( $P<0.05$ ). The level of SCr and the value of RRI were positively correlated with the days of CRRT ( $P<0.05$ ) and the pediatric critical illness score was negatively correlated with death within 28 days. The values of RRI and the level of blood lactate were closely correlated with death within 28 days while the value of RRI and the level of SCr were associated with long-term continuous renal replacement therapy(>3d). **Conclusion:** Color Doppler ultrasound can monitor hemodynamic changes in pediatric patients with S-AKI, and evaluate the severity and prognosis of them.

**Key words:** Acute Kidney Injury; Ultrasonography, Doppler, Color

2016 年的 Sepsis3.0 国际共识对脓毒症进行了重新定义,将其描述为“宿主对感染的免疫反应失调

而引起的多器官功能障碍”<sup>[1]</sup>。肾脏是脓毒症最常受累的靶器官,据统计全球每年约 600 万名脓毒症患

**[收稿日期]** 2024-01-17;**[修回日期]** 2024-02-07

**[作者简介]** 彭娅(1988-),女,湖南衡阳人,主治医师。E-mail:pengya0930@163.com

**[通信作者]** 刘金桥,湖南省儿童医院超声科,410007。E-mail:471313007@qq.com

者会出现急性肾损伤(Acute kidney injury,AKI)<sup>[2]</sup>,脓毒症相关急性肾损伤(Sepsis-induced AKI,S-AKI)是导致脓毒症患者预后不良的高危因素,使其死亡风险增加了 6~8 倍。近年来许多研究致力于探讨肾脏彩色多普勒超声在 AKI 患者中的应用价值。根据美国放射学会最新发布的肾衰适用标准,肾脏彩色多普勒超声是诊断 AKI 的最佳影像学方法<sup>[3]</sup>。本研究旨在对我院收治的 80 例 S-AKI 的患儿进行肾脏彩色多普勒超声检查,并与 30 例未发生 AKI 的脓毒症患儿进行对比,探讨肾脏彩色多普勒超声对于评估 S-AKI 患儿的严重程度及预后的价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 对象

选取我院 2019 年 12 月—2023 年 7 月确诊为 S-AKI 的患儿共 80 例,分为 1 期组(17 例),2 期组(25 例)和 3 期组(38 例)。选取同时期于我院住院的脓毒症但未发生 AKI 的患儿 30 例作为对照组。本研究获得湖南省儿童医院伦理委员会批准,患儿家属已签署知情同意书。

### 1.2 纳入、排除和诊断标准

纳入标准:①年龄<18 岁;②住院时间>3 天。排除标准:①既往诊断为慢性肾疾病;②合并泌尿系梗阻;③合并持续性心律不齐;④脓毒症以外原因引起的 AKI。

儿童脓毒症患者的诊断标准参照《儿童脓毒性休克(感染性休克)诊治专家共识(2015 版)》<sup>[4]</sup>;S-AKI 的诊断标准参照急性肾损伤网络标准<sup>[5]</sup>;S-AKI 定义<sup>[6]</sup>为脓毒症患儿出现无法用其它病因解释的肾功能突然恶化,表现为血肌酐急剧上升和(或)无尿。

### 1.3 方法

收集所有入选患儿的性别,年龄,心率,BMI,小儿危重病例评分法(PCIS),血肌酐(SCr),尿量,降钙素原(PCT),血乳酸(Lac),连续肾脏替代疗法(Continuous renal replacement therapy,CRRT)使用天数以及 28 天死亡情况。所有患儿于入组后 24 小时内行双肾彩色多普勒超声检查,应用 Philips EPIQ7C 或 SuperSonic Imagine Aixplorer 超声诊断仪,均配备 1~5 MHz 凸阵探头。患儿取仰卧位,将探头置于侧腰部以获取双肾最大冠状切面图,记录双肾实质回声,当肾实质回声高于同水平肝脾回声时,则为肾实质回声增强<sup>[7]</sup>,测量双肾大小并计算肾脏厚/长比值。应用彩色多普勒血流成像观察双肾血流灌注,由于患儿年龄小、病情较重,不允许进行双肾血管检测,且既往研究显示双肾叶间动脉阻力指数无差异<sup>[8]</sup>,因此我们选择测量右肾叶间动脉阻力指数。将

取样框置于右肾叶间动脉,待脉冲多普勒频谱出现 3 个以上稳定波形时,测量右肾叶间动脉收缩期峰值流速(Peak systolic velocity,PSV)和舒张末期血流速度(End diastolic velocity,EDV),并计算肾动脉阻力指数(Renal resistive index,RRI),计算公式为  $RRI=(PSV-EDV)/PSV$ 。见图 1。

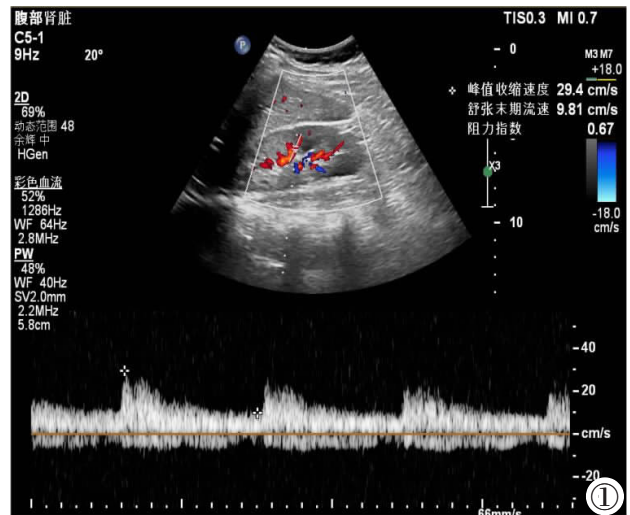


图 1 超声测量 RRI。

Figure 1. Calculation of the RRI by ultrasound.

### 1.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行分析,计量资料采用 Kolmogorov-Smirnov 进行正态性检验,正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,组间比较采用单因素方差分析。非正态分布的计量资料以中位数(四分位数)( $M(P_{25}, P_{75})$ )表示,组间比较采用 Kruskal-Wallis 检验。计数资料以例数(n)和百分率(%)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。应用 Pearson 相关性分析研究 RRI 值、肾脏厚/长比值、SCr 和 CRRT 天数之间的相关性。应用二元 Logistic 回归分析各因素对 S-AKI 患儿 28 天死亡和长期行 CRRT(>3d)的影响。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

见表 1。各组性别、年龄、BMI、Lac、心率和 28 天死亡数比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。2 期组和 3 期组患儿 PCIS 评分高于 1 期组和对照组患儿( $P<0.05$ ),2 期组与 3 期组,1 期组与对照组的 PCIS 评分比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。3 期组患儿 PCT 高于对照组和 1 期组,2 期组 PCT 高于对照组( $P<0.05$ ),但对照组与 1 期组,1 期组与 2 期组,2 期组与 3 期组的 PCT 比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。各组患儿 SCr 差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。3 期组 CRRT 天数大于 1 期组和 2 期组( $P<$

0.05),1 期组与 2 期组的 CRRT 天数比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

2.2 各组患儿的肾脏超声各参数的比较

3 期组患儿的肾实质回声增强比例高于对照组和 1 期组,2 期组患儿的肾实质回声增强比例高于对照组( $P<0.05$ )。3 期组患儿的肾脏厚/长比值高于其余各组( $P<0.05$ ),但对照组、1 期组和 2 期组的肾脏厚/长比值差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

2 期组和 3 期组患儿的 RRI 值高于对照组和 1 期组,差异有统计学意义( $P<0.05$ );但 2 期组与 3 组期的 RRI 值,1 期组与对照组患儿 RRI 值差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 2 及图 2~5。

2.3 S-AKI 患儿的 RRI 值、肾脏厚/长比值、SCr、CRRT 天数之间的相关性

S-AKI 患儿的 RRI 值、SCr 与 CRRT 天数之间均存在显著正相关( $r=0.356,0.576,P=0.001,0.000$ ),S-AKI 患儿的 RRI 值与肾脏厚/长比值、SCr 之间不存在相关性( $r=0.165,0.194,P=0.144,0.085$ )。见表 3。

2.4 AKI 患儿长期行 CRRT (CRRT>3 天) 以及 S-AKI 患儿 28 天死亡的相关危险因素的分析

分别以性别、年龄、BMI、心率、PCIS、RRI、肾脏厚/长比值、肾实质回声增强、PCT、SCr、Lac、CRRT 天数为自变量,S-AKI 患儿 28 天死亡为应变量(存活=0,死亡=1),逐个行单因素二元 Logistic 回归,结果显示,PCIS 评分是影响 S-AKI 患儿 28 天死亡结局的保护性因素( $OR=0.488,P<0.05$ ),RRI 和 Lac 是影响 S-AKI 患儿 28 天死亡结局的危险因素( $OR=1.139,2.214,P<0.05$ )。见表 4。

表 1 各组临床资料的比较

	对照组(n=30)	1 期组(n=17)	2 期组(n=25)	3 期组(n=38)	统计量	P
性别(男/女)	15/15	8/9	15/10	16/22	$\chi^2=1.970$	0.579
年龄(岁)	3.80(2.30,10.80)	9(3.55,11.35)	7.80(3.85,11.50)	6.4(2.00,11.60)	$H=3.509$	0.320
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	15.86(14.44,17.58)	16.66(15.40,18.37)	16.52(15.06,17.05)	15.27(14.61,16.78)	$H=4.718$	0.194
PCIS 评分	76.00(72.75,78.00)	77(72,80)	73(70,76) <sup>1,2</sup>	74(67.5,76) <sup>1,2</sup>	$H=12.041$	0.007
Lac(mmol/L)	0.75(0.60,1.03)	0.80(0.70,1.90)	1(0.85,2.3)	1(0.8,2.63)	$H=7.065$	0.070
SCr(mmol/L)	25.50(22.30,34.00)	70.80(59.1,96.4) <sup>1</sup>	103(95.85,227.50) <sup>1,2</sup>	329.50(163.13,479.75) <sup>1,2,3</sup>	$H=90.039$	0.000
PCT(ng/L)	0.61(0.15,1.90)	1.06(0.59,7.74)	3.6(0.7,13.35) <sup>1</sup>	10.95(1.46,47.51) <sup>1,2</sup>	$H=30.194$	0.000
心率(次/min)	111.50(98,124)	122(106,132)	110(99,125)	114.5(98.0,133.5)	$H=2.126$	0.547
CRRT 天数	-	0(0,0)	0(0,3)	4(1,6) <sup>2,3</sup>	$H=24.578$	0.000
28 天死亡率	5(16.67%)	2(11.76%)	3(12.00%)	7(18.42%)	$\chi^2=0.695$	0.874

注:1:与对照组比较, $P<0.05$ ;2:与 1 期组比较, $P<0.05$ ;3:与 2 期组比较, $P<0.05$ 。

表 2 各组患儿肾脏超声各参数的比较

	对照组(n=30)	1 期组(n=17)	2 期组(n=25)	3 期组(n=38)	统计量	P
回声增强比例	12(40.00%)	8(65.0%)	19(76.00%) <sup>1</sup>	34(89.47%) <sup>1,2</sup>	$\chi^2=21.093$	0.000
厚/长	0.44±0.04	0.41±0.03	0.43±0.05	0.49±0.06 <sup>1,2,3</sup>	$F=12.550$	0.000
RRI	0.63±0.05	0.66±0.06	0.73±0.07 <sup>1,2</sup>	0.76±0.06 <sup>1,2</sup>	$F=29.488$	0.000

注:1:与对照组比较, $P<0.05$ ;2:与 1 期组比较, $P<0.05$ ;3:与 2 期组比较, $P<0.05$ 。

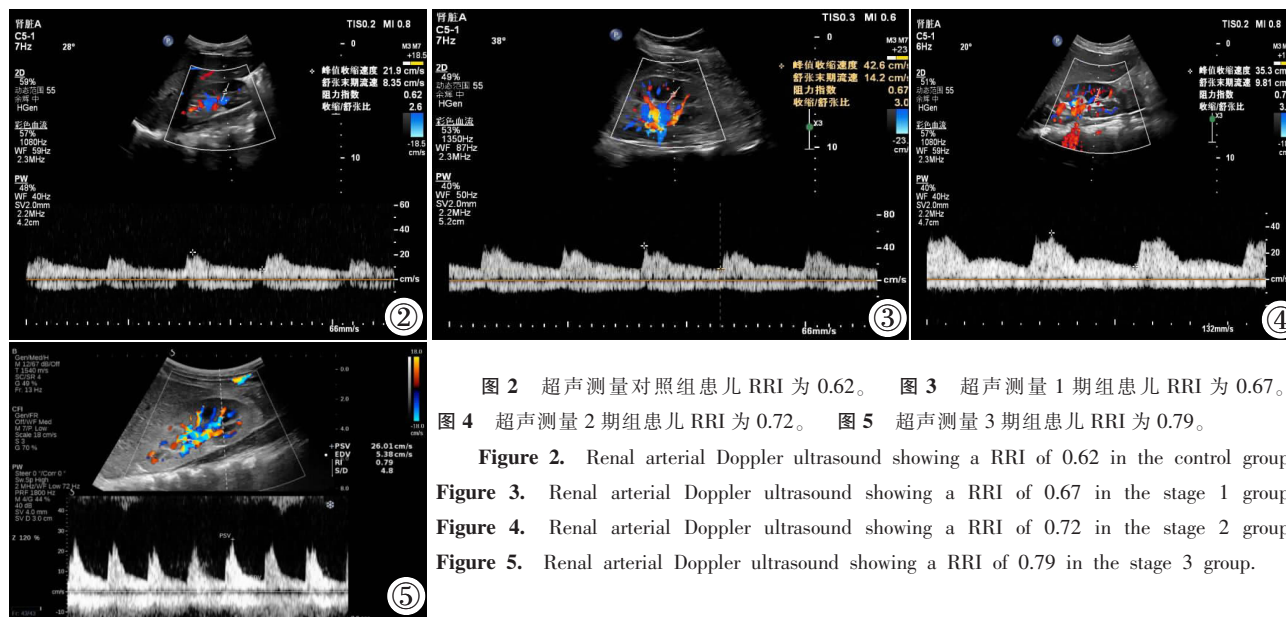


图 2 超声测量对照组患儿 RRI 为 0.62。图 3 超声测量 1 期组患儿 RRI 为 0.67。图 4 超声测量 2 期组患儿 RRI 为 0.72。图 5 超声测量 3 期组患儿 RRI 为 0.79。

Figure 2. Renal arterial Doppler ultrasound showing a RRI of 0.62 in the control group. Figure 3. Renal arterial Doppler ultrasound showing a RRI of 0.67 in the stage 1 group. Figure 4. Renal arterial Doppler ultrasound showing a RRI of 0.72 in the stage 2 group. Figure 5. Renal arterial Doppler ultrasound showing a RRI of 0.79 in the stage 3 group.

表 3 S-AKI 各组患儿 RRI、肾脏厚/长、SCr 及 CRRT 天数之间的相关性

	RRI	厚/长	SCr	CRRT 天数
RRI	1.00	-	-	-
厚/长	0.165	1.00	-	-
SCr	0.194	0.218	1.00	-
CRRT 天数	0.356 <sup>1</sup>	0.195	0.576 <sup>1</sup>	-

注:1: $P<0.05$ 。

分别以性别、年龄、BMI、心率、PCIS、RRI、肾脏厚/长比值、肾实质回声增强、PCT、SCr、Lac 为自变量,S-AKI 患儿长期行 CRRT(CRRT>3d)为应变量(CRRT $\leq$ 3d 为 0,CRRT>3d 为 1),逐个行单因素二元 Logistic 回归,结果显示 RRI 和 SCr 是 S-AKI 患儿需长期行 CRRT 的危险因素(OR=1.125、1.004, $P<0.05$ )。见表 5。

### 3 讨论

目前关于 S-AKI 的发病机制尚未完全阐明,现认为与炎症反应失调、肾小管上皮细胞代谢异常以及肾血流微循环障碍等有关<sup>[9]</sup>。肾血流微循环障碍的主要特征是肾内局部血流分布不均,大量毛细血管内灌注不足,出现间断血流或停滞血流<sup>[10]</sup>。同时,

肾小球毛细血管静水压降低、入球小动脉收缩和出球小动脉扩张也会降低肾小球滤过率,引起肾功能损伤<sup>[11]</sup>。因此监测脓毒症患者的肾血流动力学变化对于早期诊断和及时治疗 S-AKI 至关重要。由于 90%的肾脏血流供给肾皮质,故测量分布于肾皮质处的叶间动脉和小叶间动脉能更好地反应肾小球与肾小管的血供情况,在实际工作中,由于小叶间动脉受血流速度低、周围组织的影响以及超声仪器分辨率的限制,我们更倾向于采用叶间动脉评估肾血流灌注情况<sup>[12]</sup>。研究证明,彩色多普勒超声测量的肾叶间动脉 RRI 值可以体现肾内血流灌注情况和血管壁的顺应性变化,综合反映全身血流和肾血管特性的改变,对判断临床前期肾功能障碍,评估肾血管损伤有重要意义<sup>[13]</sup>。

S-AKI 患者的各病程中均可出现肾体积增大,尤以厚径明显<sup>[14]</sup>,本研究结果显示 3 期组患儿的肾脏厚/长比值明显高于其余各组,但肾脏厚/长比值对鉴别对照组、1 期组与 2 期组患儿的价值有限。同时,随着 S-AKI 程度的加重,患儿肾实质回声增强比例呈上升趋势,这可能是由于随着 S-AKI 程度的加重,肾脏炎症细胞浸润和间质纤维化程度加重,蛋

白质沉积增多<sup>[15]</sup>,导致超声波反射增加而表现为肾实质回声增强。目前仅一项研究报道了 RRI 在儿童 AKI 患者中的应用价值<sup>[16]</sup>,该研究以 100 名需机械通气的重症患儿为研究对象,测量其右肾段动脉阻力指数(RI)值,发现 RI $\geq$ 0.85 时诊断持续性 AKI 的曲线下面积最大,灵敏度和特异度分别为 91.7%,84.7%。我们的研究发现 2-3 期组患儿的 RRI 值高于 1 期组和对照组患儿( $P<0.05$ ),提示 RRI 可以用于诊断 2-3 期组患儿,但对于 1 期组患儿诊断价值有限。这与 Jelle 等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,他们在 99 名 ICU 患者的前瞻性研究中发现,2-3 期组患者的 RRI 值明显高于未发生 AKI 的患者,RRI 值 $\geq$ 0.74 可以预测 ICU 患者是否发生 2-3 期组,灵敏度为 53%,特异度为 87%。本研究还发现 RRI 值、Scr 与 CRRT 天数之间存在正相关,这表明 RRI 值和 SCr 可能对 S-AKI 患儿疾病的严重程度产生影响。之前有研究报道 AKI 患者 RI<0.68 时不发生 AKI,RI>0.77 时虽发生 AKI 但无需 CRRT 治疗,RI>0.84 时发生 AKI 并需要 CRRT 治疗<sup>[18]</sup>。此外,与

表 4 S-AKI 患儿 28 天死亡结局的相关危险因素

	B	SE	Wald	P	OR	95%CI
性别	-0.118	0.626	0.035	0.851	0.889	0.260~3.034
年龄	-0.018	0.070	0.067	0.796	0.982	0.856~1.126
BMI	0.082	0.107	0.588	0.443	1.085	0.881~1.337
心率	0.021	0.013	2.557	0.110	1.021	0.995~1.048
PCIS	-0.443	0.111	16.001	0.000	0.642	0.516~0.798
RRI	0.112	0.048	5.424	0.020	1.119	1.018~1.230
厚/长	-0.001	0.003	0.060	0.807	0.999	0.993~1.005
回声增强	-1.106	0.662	2.793	0.095	0.331	0.090~1.211
PCT	0.007	0.008	0.824	0.364	1.007	0.992~1.023
SCr	-0.001	0.002	0.446	0.504	0.999	0.996~1.002
Lac	0.824	0.230	12.851	0.000	2.280	1.453~3.577
CRRT 天数	0.126	0.071	3.098	0.078	1.134	0.986~1.305

表 5 S-AKI 患儿长期行 CRRT(CRRT>3d)的相关危险因素

	B	SE	Wald	P	OR	95%CI
性别	0.544	0.486	1.251	0.263	1.723	0.664~4.471
年龄	0.053	0.053	0.981	0.322	1.054	0.950~1.170
BMI	-0.075	0.078	0.931	0.335	0.928	0.797~1.080
心率	-0.002	0.010	0.061	0.806	0.998	0.978~1.017
PCIS	-0.028	0.049	0.320	0.572	0.972	0.883~1.071
RRI	0.074	0.035	4.345	0.037	1.077	1.004~1.154
厚/长	-0.001	0.002	0.163	0.686	0.999	0.996~1.003
回声增强	0.655	0.626	1.095	0.295	1.925	0.564~6.566
PCT	-0.001	0.007	0.013	0.908	0.999	0.985~1.013
SCr	0.011	0.003	17.364	0.000	1.011	1.006~1.016
Lac	0.015	0.128	0.013	0.908	1.015	0.790~1.304

既往成人研究结果不同<sup>[9]</sup>,我们的研究中 S-AKI 患儿 RRI 值与 SCr 之间不存在相关性,这可能与儿童生长发育过程中 RRI 值和 SCr 的变化趋势不同有关。正常儿童的血肌酐随年龄增长而持续上升<sup>[20]</sup>,而 RRI 值在出生时最高,之后随年龄增加而逐步下降,至 4~6 岁时趋于稳定达成人水平<sup>[21]</sup>。

RRI 对 AKI 患者预后的预测价值尚存争议。江锦熊等<sup>[22]</sup>的研究中仅 SCr 和急性生理与慢性健康评分是有机磷农药中毒患者并发 AKI 的死亡危险因素,但 RRI 不能对患者死亡产生影响。Boddi 等<sup>[23]</sup>的研究发现 RRI 值与 ICU 患者并发 AKI 的死亡结局密切相关,是影响 AKI 患者死亡的强有力的独立危险因素。我们应用二元 Logistic 回归分析 S-AKI 患儿的长期使用 CRRT(CRRT>3 天)和 28 天死亡的相关因素,显示 RRI 值对患儿长期使用 CRRT 和死亡结局产生明显影响,RRI 值是影响 S-AKI 患儿的长期行 CRRT 和 28 天死亡的关键因素。

综上所述,早期监测脓毒症患儿的肾实质回声、肾脏厚/长比值、RRI 值可以有效评估 S-AKI 的严重程度,RRI 值还能预测患儿临床转归,是影响 S-AKI 患儿长期行 CRRT 和死亡的重要危险因素。本研究的不足之处在于,这是一个单中心的研究,样本量有限,今后的研究可致力于大规模的多中心研究,探索肾脏彩色多普勒超声对于不同年龄段、不同病因的 AKI 患儿的应用价值。

#### 【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.
- [2] Peerapornratana S, Manrique-Caballero CL, Gómez H, et al. Acute kidney injury from sepsis: current concepts, epidemiology, pathophysiology, prevention and treatment [J]. *Kidney Int*, 2019, 96(5): 1083-1099.
- [3] Expert Panel on Urologic Imaging, Wong -You -Cheong JJ, Nikolaidis P, et al. ACR Appropriateness Criteria Renal Failure [J]. *J Am Coll Radiol*, 2021, 18(5S): S174-S188.
- [4] 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]. *中华实用儿科临床杂志*, 2015,30(22):1687-1691.
- [5] Mehta RL, Kellum JA, Shah SV, et al. Acute Kidney Injury Network: report of an initiative to improve outcomes in acute kidney injury[J]. *Crit Care*, 2007, 11(2): R31.
- [6] Bellomo R, Kellum JA, Ronco C, et al. Acute kidney injury in sepsis[J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43(6): 816-828.
- [7] 周永昌,郭万学. 超声医学[M]. 3 版. 北京:科学技术文献出版社, 2002:1032-1033.
- [8] 潘思梦,林世龙,宋洁琼,等. 肾脏超声造影对脓毒症急性肾损伤预测价值的前瞻性队列研究[J]. *临床内科杂志*, 2022,39(8):527-530.
- [9] Gómez H, Kellum JA, Ronco C. Metabolic reprogramming and tolerance during sepsis-induced AKI [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2017, 13(3): 143-151.
- [10] Seely KA, Holthoff JH, Burns ST, et al. Hemodynamic changes in the kidney in a pediatric rat model of sepsis-induced acute kidney injury [J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2011, 301(1): F209-F217.
- [11] Martensson J, Bellomo R. Sepsis-induced acute kidney injury[J]. *Crit Care Clin*, 2015, 31(4): 649-660.
- [12] Guan Q, Wang C, Liu J, et al. Renal Blood Flow Distribution Imaging Reveals Distinct Roles of the Cortex and Medulla in Ischemic Acute Kidney Injury [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2016, 27(5): 1386-1394.
- [13] O'Neill WC. Renal resistive index: a case of mistaken identity [J]. *Hypertension*, 2014, 64(5): 915-917.
- [14] 陈苏,肖莹,邱琼. 连续超声检查急性中毒患者肾脏声像及肾血流量的研究[J]. *中国超声医学杂志*, 2011,27(12):1112-1115.
- [15] Menon R, Bombardieri AS, Lake BB, et al. Integrated single-cell sequencing and histopathological analyses reveal diverse injury and repair responses in a participant with acute kidney injury: a clinical-molecular-pathologic correlation [J]. *Kidney Int*, 2022, 101(6): 1116-1125.
- [16] de Carvalho AV, Ferraz IS, de Souza FM, et al. Acute kidney injury in critically ill children: predictive value of renal arterial Doppler assessment[J]. *Pediatr Res*, 2023, 93(6): 1694-1700.
- [17] Haitsma Mulier JLG, Rozemeijer S, Röttgering JG, et al. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients; A prospective observational cohort study[J]. *PLoS One*, 2018, 13(6): e0197967.
- [18] Bossard G, Bourgoin P, Corbeau JJ, et al. Early detection of postoperative acute kidney injury by Doppler renal resistive index in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass [J]. *Br J Anaesth*, 2011, 107(6): 891-898.
- [19] Liu PQ, Ding CW, Zhang YC, et al. Diagnostic value of ultrasound and contrast-enhanced ultrasound in septic acute kidney injury[J]. *J Clin Ultrasound*, 2022, 50(4): 505-514.
- [20] 钟旭辉,丁洁,周建华,等. 中国儿童 15 项常用临床检验指标的生物参考区间研究[J]. *中华儿科杂志*, 2018,56(11):835-845.
- [21] Murat A, Akarsu S, Ozdemir H, et al. Renal resistive index in healthy children[J]. *Eur J Radiol*, 2005, 53(1): 67-71.
- [22] 江锦雄,郭黎红,蔡承哲,等. 肾脏彩超评价急性有机磷农药中毒并发急性肾损伤严重程度及预后的价值 [J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2021,39(11):862-865.
- [23] Boddi M, Bonizzoli M, Chiostrini M, et al. Renal Resistive Index and mortality in critical patients with acute kidney injury[J]. *Eur J Clin Invest*, 2016, 46(3): 242-251.