

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2026.02.014

✧ 临床医学研究 ✧

# 超声评估肾阻力指数结合血清 CysC 水平对急性肾损伤的诊断价值评估

刘雨杭<sup>1</sup>, 杨文娟<sup>2</sup>

(1. 安康市中医医院超声医学科, 陕西 安康 725000; 2. 西安秦皇医院超声医学科, 陕西 西安 710600)

**【摘要】目的:** 探究超声评估肾阻力指数(RRI)结合血清胱抑素 C(CysC)水平对急性肾损伤(AKI)的评估价值。**方法:** 回顾性分析 86 例 AKI 患者的临床资料, 根据全球肾脏病预后组织(KDIGO)分期分为轻症组( $n=50$ )和重症组( $n=36$ )。记录 AKI 的分期情况, 比较两组患者一般资料、RRI 和 CysC 水平, 绘制受试者工作特征(ROC)曲线评价 CysC、RRI 及两者联合对重症 AKI 患者的预测价值, 采用 Spearman 相关性分析 RRI 和 CysC 水平与 AKI 分期的相关性。**结果:** 两组患者性别、年龄无统计学差异( $P>0.05$ )。重症组患者在高血压、糖尿病的合并情况及病因方面与轻症组比较, 差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。重症组患者的 RRI 及 CysC 水平均高于轻症组( $P<0.05$ )。ROC 曲线分析显示, CysC、RRI 及联合预测重症 AKI 的曲线下面积(AUC)分别为 0.807、0.773、0.903。CysC 的截断值为 1.96  $\mu\text{mol/L}$ , 敏感度为 68.00%, 特异度为 86.11%; RRI 的截断值为 0.68, 敏感度为 58.00%, 特异度为 86.11%; 联合预测的敏感度为 100.00%, 特异度为 74.00%。Spearman 相关性分析显示, RRI、CysC 水平与 AKI 分期均呈现正相关关系( $P<0.05$ )。**结论:** 多数 AKI 患者处于早期阶段, 合并高血压、糖尿病等与病情严重程度相关, 超声评估 RRI 结合血清 CysC 水平单独及联合预测重症 AKI 均具有价值, 联合预测可提高预测敏感度, 且二者水平与 AKI 分期均正相关。

**【关键词】** 急性肾损伤; 超声; 肾阻力指数; 血清胱抑素 C

**【中图分类号】** R692.5 **【文献标志码】** A

## Evaluated value of renal resistance index combined with serum CysC level in the evaluation of acute kidney injury by ultrasound

LIU Yu-hang<sup>1</sup>, YANG Wen-juan<sup>2</sup>

(Department of Ultrasound Medicine, 1. Ankang Hospital of Traditional Chinese Medicine, Ankang 725000; 2. Xi'an Qin Emperor Hospital, Xi'an 710600, Shaanxi, China)

**【Abstract】Objective:** To explore the evaluated value of ultrasound evaluation of renal resistance index (RRI) combined with serum cystatin C (CysC) level on acute kidney injury (AKI). **Methods:** The clinical data of 86 patients with AKI were retrospectively analyzed. According to the Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO) staging, they were divided into mild group ( $n=50$ ) and severe group ( $n=36$ ). The AKI staging was recorded, and the general data, RRI and CysC were compared between groups. ROC curve was drawn to evaluate the predictive value of CysC, RRI and their combination on patients with severe AKI. Spearman correlation analysis was used to analyze the correlation between RRI and CysC levels and AKI staging. **Results:** There were no statistical differences in gender and age between the two groups of patients ( $P>0.05$ ). Statistically significant differences were observed in concurrent hypertension, concurrent diabetes mellitus and etiology in severe group compared with those in mild group ( $P<0.05$ ). The RRI and CysC in severe group were higher than those in mild group, with statistical differences ( $P<0.05$ ). ROC curve analysis showed that the AUCs of CysC, RRI and combined prediction in predicting severe AKI were 0.807, 0.773 and 0.903. The optimal cut-off value of CysC was 1.96  $\mu\text{mol/L}$ , with a sensitivity of 68.00% and a specificity of 86.11%. The optimal cut-off value of RRI was 0.68, and the sensitivity and specificity were 58.00% and 86.11%. The sensitivity and specificity of combined prediction were 100.00% and 74.00%, respectively. Spearman correlation analysis showed that RRI and CysC were positively correlated with AKI staging ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** Most patients with AKI are in the early stage, and hypertension and diabetes mellitus are related to the disease severity. Ultrasound evaluation of RRI combined with serum CysC alone and in combination in predicting severe AKI has value.

**基金项目:** 陕西省中医药管理局科研课题(SZY-KJCYC-2025-LC-017)

**作者简介:** 刘雨杭(1990—), 女, 主治医师。E-mail: liuyuhang332211@163.com

**通讯作者:** 杨文娟。E-mail: yidajuanjuan@163.com

Combined prediction can enhance the predictive sensitivity, and the levels of the two are positively correlated with AKI staging.

**【Key words】** Acute kidney injury; Ultrasound; Renal resistance index; Serum cystatin C

急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 是临床常见的急危重症, 其发病率呈逐年上升趋势。AKI 患者病情进展迅速, 若得不到及时有效的诊断和治疗, 可导致慢性肾脏病、终末期肾病甚至死亡, 严重威胁患者的生命健康和生活质量<sup>[1]</sup>。准确评估 AKI 的严重程度对于制定合理的治疗方案、改善患者预后至关重要。传统上, AKI 的诊断大多依据血清肌酐 (Scr) 数值波动以及尿量改变情况<sup>[2]</sup>。然而, Scr 受年龄、性别、肌肉量等多种因素影响, 且在肾功能受损早期变化不明显, 容易导致诊断延迟<sup>[3]</sup>; 尿量也易受多种因素干扰, 如液体摄入、利尿剂使用等, 其诊断的敏感性和特异性有限<sup>[4]</sup>。血清胱抑素 C (cystatin C, CysC) 属于低分子量的半胱氨酸蛋白酶抑制剂。机体内所有有核细胞均能持续且稳定生成 CysC, 其产生速率较为恒定, 且年龄、性别、肌肉量以及炎症等常见因素, 都不会对 CysC 的生成造成干扰<sup>[5]</sup>。肾阻力指数 (renal resistive index, RRI) 是通过超声测量肾内动脉血流频谱计算得出的参数, 可反映肾脏血管的阻力状态和肾脏灌注情况<sup>[6]</sup>。已有诸多研究<sup>[7]</sup>将 RRI 和血清 CysC 指标结合用于预测不同疾病导致的 AKI, 但多局限于特定患者群体, 对于研究对象的普适性存在不足。基于此, 本研究广泛纳入不同病因的重症 AKI 患者, 旨在探讨超声评估 RRI 结合血清 CysC 水平对重症 AKI 的预测价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性分析 2020 年 1 月至 2025 年 1 月安康市中医医院收治的 86 例急性肾损伤患者的临床资料。纳入标准: (1) 符合 AKI 的诊断标准<sup>[8]</sup>; (2) 年龄  $\geq 18$  岁; (3) 能配合进行各项检查, 意识清楚。排除标准: (1) 心、肝、肺等重要脏器出现严重功能障碍; (2) 近期使用过影响肾功能的药物; (3) 存在肾脏先天畸形、肿瘤、结石等结构性病变; (4) 不可逆转的终末器官损害; (5) 腹腔内压过高, 超声影像显示不清; (6) 肾动脉狭窄、肾解剖异常及心律失常。根据 KDI-GO 分期标准<sup>[9]</sup> (1 期为轻症, 2~3 期为重症) 分为轻症组 ( $n=50$ ) 和重症组 ( $n=36$ )。

### 1.2 方法

(1) 一般资料收集: 收集所有患者的一般资料, 包括年龄、性别、合并高血压、合并糖尿病、病因 (心肌梗死、暴发性心肌炎、其他)、血清肌酐 (Scr)。(2) 血清 CysC 水平检测: 采集静脉血 5 mL, 经离心操

作, 分离血清, 运用免疫比浊技术对血清中 CysC 的含量进行测定, 使用全自动生化检测仪 (罗氏 Cobas8 000) 检测, 试剂盒为九强生物技术股份有限公司生产, 整个操作严格依照试剂盒说明书执行。(3) 超声检查及 RRI 测量: 采用 M10 迈瑞超声诊断仪, 探头频率为 3.5~5.0 MHz。患者需保持仰卧, 让腹部得以完全展露, 在二维超声下清晰显示双侧肾脏, 将成像模式转换为彩色多普勒血流成像, 观察肾内动脉血流分布情况。选取肾门部、叶间动脉及弓状动脉, 测量其收缩期峰值流速 (peak systolic velocity, PSV) 和舒张末期流速 (end diastolic velocity, EDV)。根据公式  $RRI = (PSV - EDV) / PSV$  计算 RRI。每侧肾脏测量 3 次, 取平均值。

### 1.3 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析。计数数据以 [ $n$  (%)] 描述, 组间比较用独立样本  $\chi^2$  检验; 计量资料以 ( $\bar{x} \pm s$ ) 来描述, 组间对比则用独立样本  $t$  检验; 绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线, 评价 CysC、RRI 及两者联合对重症 AKI 患者的预测价值; 采用 Spearman 相关性分析 RRI 和 CysC 水平与 AKI 分期的相关性。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 AKI 患者分期情况

1 期共 50 例, 占比 58.14%; 2 期共 28 例, 占比 32.56%; 3 期共 8 例, 占比 9.30%。

### 2.2 一般资料比较

两组患者在性别、年龄方面比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。重症组患者在合并高血压、糖尿病、心脏病情况及 Scr 水平方面均高于轻症组, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较 [ $\bar{x} \pm s, n$  (%)]

指标	AKI 轻症组 ( $n=50$ )	AKI 重症组 ( $n=36$ )	$\chi^2/t$ 值	$P$ 值
性别			0.002	0.967
男	28(56.00)	22(44.00)		
女	20(55.56)	16(44.44)		
年龄 (岁)	52.34 $\pm$ 13.21	57.56 $\pm$ 14.35	1.744	0.085
合并高血压	18(36.00)	16(44.44)	4.513	0.034
合并糖尿病	12(24.00)	19(52.78)	7.519	0.006
合并心脏病			22.607	<0.001
心肌梗死	10(20.00)	19(52.78)		
暴发性心肌炎	2(4.00)	8(22.22)		
其他	38(76.00)	9(25.00)		
Scr ( $\mu$ mol/L)	87.45 $\pm$ 23.56	113.19 $\pm$ 45.67	3.410	0.001

### 2.3 两组患者 RRI 和 CysC 水平比较

重症组患者的 RRI 及 CysC 水平均高于轻症组 ( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 2 两组患者 RRI 和 CysC 水平比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	AKI 轻症组 ( $n=50$ )	AKI 重症组 ( $n=36$ )	$t$ 值	$P$ 值
RRI	0.62±0.15	0.78±0.16	4.746	<0.001
CysC( $\mu\text{mol/L}$ )	1.85±0.32	2.34±0.45	5.905	<0.001

### 2.4 CysC、RRI 及联合对重症 AKI 的预测价值

ROC 曲线分析显示, CysC、RRI 及联合预测重症 AKI 的曲线下面积(AUC)分别为 0.807、0.773、0.903。CysC 的截断值为 1.96  $\mu\text{mol/L}$ , 此时敏感度为 68.00%, 特异度为 86.11%; RRI 的截断值为 0.68, 敏感度为 58.00%, 特异度为 86.11%; 联合预测的敏感度为 100.00%, 特异度为 74.00%。见表 3 及图 1。

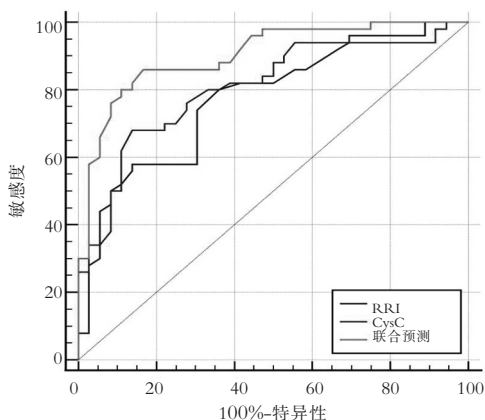


图 1 CysC、RRI 及联合预测重症 AKI 的 ROC 曲线

表 3 CysC、RRI 及联合预测重症 AKI 的效能

指标	AUC 值	95%CI	敏感度(%)	特异度(%)	截断值	$P$ 值
RRI	0.773	0.670~0.856	58.00	86.11	0.68	<0.001
CysC	0.807	0.707~0.884	68.00	86.11	1.96 $\mu\text{mol/L}$	<0.001
联合预测	0.903	0.819~0.956	100.00	74.00	-	<0.001

### 2.5 RRI、CysC 水平与 AKI 分期的相关性

Spearman 相关性分析显示, RRI、CysC 水平与 AKI 分期均呈正相关关系 ( $P < 0.05$ )。见表 4。

表 4 RRI、CysC 水平与 AKI 分期的相关性

指标	$r_s$ 值	95%CI	$P$ 值
RRI	0.588	0.433~0.618	<0.001
CysC	0.572	0.429~0.621	<0.001

## 3 讨论

AKI 发病机制复杂, 肾前性因肾灌注不足, 致肾小管缺血损伤; 肾性常因肾实质受损, 如肾小管坏死、肾小球炎症等, 破坏滤过及重吸收功能; 肾后性

源于尿路梗阻, 使肾内压升高, 损害肾脏结构与功能, 多因素交织, 共同引发 AKI<sup>[10-11]</sup>。

随着 AKI 分期加重, 肾脏功能受损加剧, 极有可能造成水、电解质、酸碱平衡紊乱, 高钾血症、代谢性酸中毒等病症可能相继产生, 还会增加慢性肾脏病风险, 甚至发展为终末期肾病, 危及生命<sup>[12-13]</sup>。本研究显示, 1 期共 50 例, 占比 58.14%; 2 期共 28 例, 占比 32.56%; 3 期共 8 例, 占比 9.30%。表明大多数患者处于早期 AKI 阶段, 而较少患者进展到更严重的阶段。两组患者在性别、年龄维度展开对比, 结果显示差异并无统计学意义。然而, 在合并高血压、糖尿病情况以及病因方面, 重症组与轻症组相比, 差异呈现出统计学意义。王晓雨等<sup>[14]</sup>研究也显示, 合并糖尿病、高血压是发生 AKI 的影响因素。分析其可能原因, 高血压时, 肾脏血管长期承受高压, 导致肾小动脉硬化, 血管狭窄, 肾脏灌注不足, 缺血缺氧损伤肾小管和肾小球, 引发 AKI; 高血糖状态下, 肾脏血流动力学改变, 肾小球高滤过、高灌注, 长期可使肾小球基底膜增厚、系膜增生, 损害肾功能。糖尿病还易引发微血管病变, 影响肾脏微循环, 进一步加重肾损伤<sup>[15-16]</sup>。

血清 CysC 是新型肾小球滤过功能的标志物, 因其敏感、准确反映肾小球滤过功能的变化, 近年来受到广泛关注。CysC 在人体内以恒定速率产生, 并且几乎百分百经肾小球自由滤过, 随后在近曲小管被重吸收和降解<sup>[17]</sup>。本研究显示, 重症组患者的血清 CysC 水平高于轻症组, 表明随着 AKI 病情的加重, 肾小球的滤过功能受损状况愈发严重, 血清 CysC 水平相应升高。ROC 曲线分析显示, CysC 的 AUC 为 0.807, 截断值为 1.96  $\mu\text{mol/L}$ , 敏感度为 68.00%, 特异度为 86.11%, 具有一定的预测价值。杨玉娟等<sup>[18]</sup>研究显示, CysC 预测 ICU 老年脓毒症患者 AKI 的 AUC 为 0.880, 与本文研究基本一致。分析原因为, CysC 由有核细胞恒定产生, 可自由通过肾小球滤过膜, 在健康状态下, 滤过的 CysC 在近曲小管几乎全部被重吸收和降解, 血液中水平维持稳定。当 AKI 发生且病情加重时, 肾小球滤过膜受损, 滤过膜孔径改变, 对 CysC 的滤过能力下降, 而其产生速度不变, 导致血清中 CysC 堆积, 水平升高。

RRI 可反映肾脏血流动力学变化, 正常情况下, 肾脏血管阻力较低, RRI 维持在一定范围内, 当发生 AKI 时, 肾脏血管收缩、内皮功能障碍、肾间质水肿等因素导致肾脏血管阻力增加, RRI 升高<sup>[19]</sup>。本研究中, 重症组患者的 RRI 高于轻症组, 提示 RRI 与 AKI 的病情严重程度密切相关。ROC 曲线分析显示, RRI 预测重症 AKI 的 AUC 为 0.773, RRI 的最

佳截断值为 0.68, 敏感度为 58.00%, 特异度为 86.11%。这表明 RRI 对重症 AKI 也具有较好的预测价值。本研究将 CysC 和 RRI 联合起来评估重症 AKI 的发生风险, 结果显示, 联合预测的敏感度为 100.00%, 特异度为 74.00%, 敏感度显著提升, 且 Spearman 相关性分析显示, RRI、CysC 水平与 AKI 分期呈正相关关系。联合检测敏感度提升, 因 RRI 和 CysC 从不同角度反映肾脏损伤, RRI 侧重于肾脏血流灌注, CysC 聚焦肾小球滤过功能, 二者结合能更全面捕捉肾脏损伤信息, 弥补单一指标不足。

综上, 超声评估 RRI 结合血清 CysC 水平对 AKI 的病情评估具有较高价值, 两者联合可提高对重症 AKI 的预测效能。

#### 参考文献

- [1] 高欣然. 研究脓毒症合并急性肾损伤患者的炎症因子、血流动力学变化与肾功能转归的内在联系[J]. 首都食品与医药, 2024, 31(10): 26-29.
- [2] Yue L, Liu X, Wu C, *et al.* Toll-like receptor 4 promotes the inflammatory response in septic acute kidney injury by promoting p38 mitogen-activated protein kinase phosphorylation[J]. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 2023, 55(5): 353-363.
- [3] 张婧琦, 江洋, 孙佳璐, 等. 基于肾周 CT 特征结合血清肌酐水平探讨脓毒症伴急性肾损伤的早期识别[J]. 中华危重症医学杂志(电子版), 2024, 17(4): 285-292.
- [4] 杨晓亮, 张荣军, 王虎成, 等. 慢性肾功能衰竭患者合并脑出血的预后研究: 一项单中心回顾性 PSM 研究[J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2024, 18(4): 51-55.
- [5] Pei Y, Zhou G, Wang P, *et al.* Serum cystatin C, kidney injury molecule-1, neutrophil gelatinase-associated lipocalin, klotho and fibroblast growth factor-23 in the early prediction of acute kidney injury associated with sepsis in a Chinese emergency cohort study[J]. *European Journal of Medical Research*, 2022, 27(1): 39.
- [6] Zhang Y, Zhu J, Zhang C, *et al.* Non-invasive early prediction of septic acute kidney injury by Doppler-based renal resistive indexes combined with echocardiographic parameters: an experimental study[J]. *Frontiers in Medicine*, 2021, 8: 723837.
- [7] Zaitoun T, Megahed M, Elghoneimy H, *et al.* Renal arterial resistive index versus novel biomarkers for the early prediction of sepsis-associated acute kidney injury[J]. *Internal and Emergency Medicine*, 2024, 19(4): 971-981.
- [8] 国家慢性肾病临床医学研究中心, 中国医师协会肾脏内科医师分会, 中国急性肾损伤临床实践指南专家组. 中国急性肾损伤临床实践指南[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(42): 3332-3366.
- [9] Yasrebi-de Kom IAR, Dongelmans DA, Abu-Hanna A, *et al.* Incorrect application of the KDIGO acute kidney injury staging criteria[J]. *Clinical Kidney Journal*, 2021, 15(5): 937-941.
- [10] 杨玲, 郭强. 血清尿酸/白蛋白比值与脓毒症患者并发急性肾损伤的相关性及预测价值[J]. 川北医学院学报, 2025, 40(2): 191-194.
- [11] Pickkers P, Darmon M, Hoste E, *et al.* Acute kidney injury in the critically ill: an updated review on pathophysiology and management [J]. *Intensive Care Medicine*, 2021, 47(8): 835-850.
- [12] Vijayan A. Tackling AKI: prevention, timing of dialysis and follow-up[J]. *Nature Reviews Nephrology*, 2021, 17(2): 87-88.
- [13] Menon S, Symons JM, Selewski DT. Acute kidney injury[J]. *Pediatrics in Review*, 2023, 44(5): 265-279.
- [14] 王晓雨, 冯贞贞, 王军, 等. 急性呼吸窘迫综合征患者并发急性肾损伤危险因素的系统评价[J]. 中国全科医学, 2025, 28(12): 1527-1537.
- [15] Li L, Ding L, Zheng L, *et al.* Relationship between stress hyperglycemia ratio and acute kidney injury in patients with congestive heart failure[J]. *Cardiovascular Diabetology*, 2024, 23(1): 29.
- [16] Soltysiak J, Krzysko-Pieczka I, Gertig-Kolasa A, *et al.* Acute kidney injury and diabetic kidney disease in children with acute complications of diabetes [J]. *Pediatric Nephrology (Berlin, Germany)*, 2023, 38(5): 1643-1652.
- [17] 王芬, 王晓彦, 许周涛, 等. 血清 CysC、 $\beta$ 2-MG、NGAL 及 RBP 对老年心肌梗死患者急性肾损伤的诊断价值[J]. 中国临床医学, 2023, 30(5): 778-784.
- [18] 杨玉娟, 周义东, 钟静. 血清 HBP、CysC、PCT 联合检测对 ICU 老年脓症患者急性肾损伤的预测价值[J]. 老年医学与保健, 2023, 29(3): 493-496.
- [19] 崔晓琼, 邹永明, 高文卿, 等. 重症超声评价老年心力衰竭合并急性肾损伤患者行血液滤过治疗预后影响因素[J]. 中华老年医学杂志, 2024, 43(7): 869-875.

(收稿日期: 2025-04-14)

修回日期: 2025-05-21)