

急性肾损伤早期诊断的研究进展

吴 靖, 李晓霞*

重庆医科大学附属第二医院麻醉科, 重庆

收稿日期: 2025年12月29日; 录用日期: 2026年1月23日; 发布日期: 2026年2月2日

摘要

背景: 急性肾损伤(Acute Kidney Injury, AKI)是一种由多种病因导致的、以肾功能急剧下降为特征的临床综合征, 在住院患者, 尤其危重症患者中发病率高, 并与其他器官衰竭、住院时间延长及死亡率增加相关。至今还未发现能有效针对AKI的治疗药物, 早期、准确地识别AKI高危患者或处于亚临床阶段的AKI, 对于及时干预、改善患者预后至关重要。传统诊断AKI主要依赖于血清肌酐(Scr)和尿量的变化, 但这些指标存在敏感性不足、特异性不足及滞后性等局限。因此, 探寻或验证能更早、更精准地预测AKI发生的新型生物标记物或新方法, 已成为当前肾脏疾病研究领域的核心热点之一。**目的:** 本综述旨在系统梳理近期关于预测AKI发生的新型生物标志物或影像学检查的研究进展, 关注其在不同高危患者(如脓毒症、心脏手术、肝肾移植等)的预测效能、联合应用价值。**方法:** 对多个数据库进行了深入检索, 包括知网、万方、维普、Pubmed和Medline。通过“急性肾损伤”“预测”“生物标志物”“早期诊断”“预警”等关键词, 搜索近五年发表的文章, 收录涉及人类受试者的原始研究、临床试验、系统评价以及Meta分析, 特别关注对急性肾损伤(AKI)的早期诊断有意义的新指标, 排除标准包括动物研究或体外研究、病例报告、信件、社论和会议记录, 缺乏对新指标详细描述的研究也被排除在外。**结果:** 新型蛋白标记物、炎症及免疫指标、影像学与功能学评估指标、以及多指标联合预测模型等为AKI的早期预测提供了新的临床思路。

关键词

急性肾损伤, 预测, 早期诊断, 生物标记物

Research Progress on Early Diagnosis of Acute Kidney Injury

Jing Wu, Xiaoxia Li*

Department of Anesthesiology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: December 29, 2025; accepted: January 23, 2026; published: February 2, 2026

*通讯作者。

文章引用: 吴靖, 李晓霞. 急性肾损伤早期诊断的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(2): 486-492.
DOI: 10.12677/acm.2026.162417

Abstract

Background: Acute Kidney Injury (AKI) is a clinical syndrome characterized by a sharp decline in renal function caused by multiple causes. It has a high incidence in hospitalized patients, especially critically ill patients, and is associated with other organ failure, prolonged hospitalization, and increased mortality. So far, no effective therapeutic drug has been found for AKI. Early and accurate identification of patients at high risk of AKI or AKI in the subclinical stage is crucial for timely intervention and improving patient prognosis. Traditional diagnosis of AKI mainly relies on changes in serum creatinine (Scr) and urine output, but these indicators have limitations such as insufficient sensitivity, insufficient specificity and hysteresis. Therefore, exploring or verifying new biomarkers or new methods that can predict the occurrence of AKI earlier and more accurately has become one of the core hot spots in the current field of kidney disease research. **Objective:** This review aims to systematically review the recent research progress on new biomarkers or imaging examinations for predicting the occurrence of AKI, focusing on their predictive performance and joint application value in different high-risk patients (such as sepsis, cardiac surgery, liver and kidney transplantation, etc.). **Methods:** An in-depth search was conducted on multiple databases, including CNKI, Wanfang, VIP, Pubmed and Medline. Articles published in the past five years were searched through keywords such as "acute kidney injury", "prediction", "biomarker", "early diagnosis" and "early warning", and original studies, clinical trials, systematic reviews and meta-analyses involving human subjects were included. Special attention was paid to new indicators that are meaningful for the early diagnosis of acute kidney injury (AKI). The exclusion criteria included animal studies or in vitro studies, case reports, letters, editorials and conference records. Studies that lacked detailed descriptions of new indicators were also excluded. **Results:** New protein markers, inflammation and immune indicators, imaging and functional evaluation indicators, and multi-index joint prediction models provide new clinical ideas for the early prediction of AKI.

Keywords

Acute Kidney Injury, Prediction, Early Diagnosis, Biomarkers

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

急性肾损伤是一种与多种疾病相关的临床综合征，其发病率逐年增高，严重威胁患者的财产和生命安全。目前针对 AKI 的治疗措施仍只是支持性的，如严格的液体管理、肾脏替代治疗(RRT)等，尽管 RRT 被视为应对严重 AKI 的有效措施，但 RRT 自身具有潜在危害性，且经济负担重，在一些医院和地区里仍未普及。因此，预防 AKI 的发生，早期、准确地诊断 AKI，及时有针对性的干预和个性化管理对高危患者的预后至关重要。传统诊断 AKI 主要依赖于血清肌酐(Scr)和尿量的变化，但血清肌酐和尿量的变化具有滞后性，甚至需要几天的时间才能稳定地代替肾功能。这刺激了大量研究者寻找能更及时准确地诊断急性肾损伤(AKI)的新方法。本文系统梳理近五年与早期诊断 AKI 有关的新指标或新方法的临床研究。

2. 脓毒症相关 AKI 的预测研究

脓毒症是 AKI 的最常见病因之一，发病率为 30%~60%，其病理生理过程涉及强烈的全身炎症反应

与微循环障碍，影响肾脏的有效循环灌注等最终导致 AKI。

2.1. 新型生物标记物

曹路等通过比较 286 例 ICU 脓毒症患者发现，并发 AKI 组的血清高迁移率族蛋白 1 (HMGB1)、可溶性血管内皮生长因子受体-1 (sFlt-1) 及微小核糖核酸 miR-21-3p 水平显著升高，而 miR-578 水平降低，四者联合检测的诊断价值(AUC = 0.892)好，且优于任一单一指标[1]。

蒋伟等学者聚焦于可溶性生长刺激表达基因 2 蛋白(sST2)，发现其在 SA-AKIA 患者中水平升高，sST2 > 85 ng/ml 是 SA-AKI 的独立危险因素，单独 sST2 早期诊断的 AUC 为 0.839，高于其他实验室指标[2]。

丁文森的研究则指出，巨噬细胞移动抑制因子(MIF)不仅是脓毒血症患者合并 AKI 的独立危险因素 (OR = 3.240)，其在预测 AKI 的发生的 AUC 值达到了 0.85 [3]。

2.2. 实验室指标

除了上述新型生物标志物外，一些在临幊上易于获取的常规或新型实验室指标的预测价值在研究中也得到了广泛验证。

陈朴发现，血清尿酸(SUA)和 β 2 微球蛋白(β 2-MG)水平升高是脓毒症患者并发 AKI 及预后不良的危险因素，两者联合检测优于任一单一指标，但 AUC 值低于 0.85 [4]。

许雅楠从氧化应激角度入手，发现脓毒症患者血清核因子 E2 相关因子 2 (NRF2) 和血红素氧合酶-1 (HO-1) 水平升高是其并发 AKI 的独立保护因素，可用于预测 SA-AKI 的发生，但预测能力一般[5]。

2.3. 影像学检查

脓毒症患者进行早期液体复苏时易导致不同程度的肾静脉淤血，引起肾静脉压力增高导致肾脏有效微循环灌注进一步减少，静脉负荷超声(venous excess ultrasound, VExUS)分级系统能无创评估静脉淤血程度。赵阳等学者的研究证实静脉负荷超声(VExUS)分级系统能有效评估静脉淤血状态，且对脓毒症患者发生 AKI 具有良好的预测价值(AUC = 0.878) [6]。

余芬等利用超声造影进行定量参数的比较来评估脓毒症患者的肾灌注情况，如达峰时间(TTP)、曲线下面积(AUC)和峰值强度(PI)，发现单纯利用超声也能预测 SA-AKI 的发生[7]。

3. 心脏及大血管手术后 AKI 的预测研究

心脏手术，尤其是需要体外循环(CPB)的手术，是院内发生 AKI 的另一个高危因素，其导致肾脏不同程度的低灌注导致肾脏损伤，引起短时间内肾功能快速减退，严重的术后 AKI 能使患者围术期死亡率升高 3~8 倍[8]。另外，术后造影剂急性肾损伤(contrast induced acute kidney injury, CIAKI)在经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的广泛应用后的发生也随之增多，有研究显示 CIAKI 是医院获得性肾衰竭的第三大原因，发生率为 8.8%~20% [9]。

3.1. 新型生物标记物

3.1.1. 中性粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白(NGAL)

中性粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白(NGAL)是一种由远端肾小管细胞和集合管合成的，与中性粒细胞中的明胶酶共价结合的蛋白质，在细胞损伤后高度上调，是目前研究最广泛的新型生物标志物之一。因其与炎症显著相关，所以对脓毒症患者的 AKI 预测价值较低[10]，但在其他患者中显示良好的 AKI 早期预测性能。Sladen 等学者通过对 81 名心脏手术患者的前瞻性研究，发现尿 NGAL 浓度在 AKI 患者术

后 1 小时后显著高于未发生 AKI 的患者, 且在 AKI 患者术后 3 小时和 18 小时内持续增加并保持显著高值[11]。同时汤振等通过对 450 名 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者的研究也发现血浆 NGAL 在术前及术后 24 小时的水平升高与 STEMI 患者直接 PCI 后发生 AKI 独立相关[12]。

3.1.2. 肾损伤因子(KIM-1)

肾损伤因子(KIM-1)也是一种细胞损伤后(缺血或中毒等)高度上调的蛋白质, 主要由近曲小管细胞产生。尿液 KIM-1 已被证明有预测 AKI 不良后果的显著能力[13]。近期吴澄等研究者通过动态监测小儿心脏术后血清脑钠肽(BNP)、尿肾损伤分子-1(KIM-1)和血清胱抑素 C(CysC)水平, 发现 AKI 组上述指标在术后各时间点均显著升高, 表明尿液 KIM-1 在预测心脏术后 AKI 中有良好价值, 其同时发现三项联合预测 AKI 发生的 AUC 达 0.893, 显著优于单项检测[14]。

3.2. 实验室指标

近期研究发现常规的实验室指标也可以在术后 AKI 的预测中获得良好的预测效能。

蒋馨谊关注急性 A 型主动脉夹层(ATAAD)患者, 通过回顾性分析发现术前白蛋白与球蛋白比值(AGR)是急性 A 型主动脉夹层(ATAAD)患者术后发生 AKI 的独立危险因素($OR = 22.721$), $AGR > 1.65$ 可作为术后 AKI 的高危分层的有效指标[15]。

王琳升团队则关注老年高血压 AMI 患者, 发现高胱抑素 C 水平和低抗凝血酶III水平是 CIAKI 的独立危险因素, 二者联合预测的 AUC 为 0.818, 显著优于单独预测[16]。同研究团队的申国旗进一步发现系统性免疫炎症指数(SII)与 N 末端 B 型钠尿肽前体(NT-proBNP)是老年 STEMI 患者急诊 PCI 术后发生 CIAKI 的独立危险因素, 两者均对 CIAKI 的风险有较好预测价值, 但二者联合的预测能力更好($AUC = 0.801$) [17]。

3.3. 影像学检查

近期超声在心血管手术后 AKI 的发生中获得了良好的预测效果。术中经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)技术常用于心脏手术中心功能的评估, 张转创新性地利用经食管超声心动图(TEE)在术中测量肾动脉阻力指数(RI), 发现 CPB 结束后 30 分钟的肾动脉 RI 是心肺转流(CPB)心脏术后发生 AKI 的独立危险因素, 其预测 AUC 高达 0.893, 为心脏术后 AKI 的预警提供了新手段[18]。

4. 其他 AKI 的预测研究

除了脓毒症患者和心血管手术, AKI 还常见于急性胰腺炎、新生儿或儿童、肝移植等多种临床情况, 针对这些背景 AKI 的预测研究也取得了相应进展。

4.1. 急性胰腺炎相关 AKI

在急性胰腺炎领域, 黄铭凤等学者开展了一项多中心研究, 收集全国 11 家急重症中心的 84 名急性胰腺炎患者资料发现金属蛋白酶组织抑制剂 2 (TIMP-2)与胰岛素样生长因子结合蛋白 7 (IGFBP7)的乘积 ($[TIMP-2] * [IGFBP-7]$)比 SCr、NGAL 能更早期有效地预测急性胰腺炎患者发生 AKI, AUC 为 0.83, 且高值组(≥ 2.46)与更差的临床结局相关[19]。此外, 姜冰玉等的研究显示, 该指标在预测老年急性冠脉综合征(ACS)患者发生 AKI 及 2 年内死亡风险方面均有良好的预测表现[20]。

徐静静则聚焦于高甘油三酯血症型重症急性胰腺炎(HTG-SAP), 发现血清紧密连接蛋白(ZO-1, Occludin, Claudin-1)水平降低联合 APACHE II 评分, 对并发 AKI 具有极高的预测价值(联合模型 $AUC = 0.998$) [21]。

吴冲发现除了 APACHEII 评分，血清 miR-29a 对老年的急性胰腺炎患者也有很高的预测价值，单独预测 AUC 可达 0.934 [22]。

4.2. 新生儿或儿童 AKI

在新生儿和儿童患者中，彭娅等研究者通过彩色多普勒超声在重症患儿中的应用，发现肾动脉阻力指数(RRI)、肾脏厚/长比值和肾实质回声增强比例三者联合，能有效预测持续性 AKI 的发生(AUC=0.945) [23]。

4.3. 肝移植术后 AKI

潘乃凡等通过研究发现术前 NT-proBNP 水平是肝移植术后发生 AKI 的独立危险因素[24]。

5. AKI 的联合预测策略与预测模型的发展趋势

近年来，AKI 预测研究的一个显著趋势是从单一标志物向多标志物联合、从生物标志物向临床指标与影像学参数融合的方向发展，旨在构建预测效能更优的模型。

联合预测策略被普遍证明能显著提升预测性能。例如，罗娅娟等发现中性粒细胞与淋巴细胞比值(NLR)升高联合活化部分凝血活酶时间(APTT)延长可以早期预测脓毒症患者 AKI 的发生，且联合预测效能 AUC (0.76) 高于两者单独预测[25]。

冯艳等将彩色多普勒超声(CDUS)测量的肾动脉阻力指数(RI)、搏动指数(PI)与血清细胞间黏附分子-1(ICAM-1)、血管细胞黏附分子-1(VCAM-1)联合，对感染性休克患者发生 AKI 展现出更高的预测价值(AUC = 0.889) [26]。

谢爽等则结合了反映营养状态的老年营养风险指数(GNRI)和反映炎症的中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)，成功预测了老年患者结直肠癌根治术后 AKI，联合 AUC 为 0.850 [27]。

6. 结论

通过对近期相关文献的搜索发现，当前关于预测 AKI 的生物标记物的研究高度聚焦于 AKI 的易感患者，如脓毒症、急性胰腺炎、心血管手术等。综述发现预测 AKI 的生物标记物类型极为多样，既包括 NGAL、KIM-1、[TIMP-2]*[IGFBP-7]等相对新型的肾脏特异性蛋白，也涵盖了 sST2、SII 等炎症介质，以及 miRNA、代谢产物等分子标记，还包括 AGR、NLR 等由常规指标衍生的综合指数。而且多项研究证实，多指标联合预测模型(无论是多种生物标记物联合，还是生物标记物与临床评分、影像学参数的结合)的预测效能(以 AUC 衡量)显著优于单一指标。

尽管新型标志物在许多研究中证明是有益的，但要想如血清肌酐及尿量一样在临幊上广泛利用还有很长的路要走，因为现有的各种研究仍不足以证明任一一种生物标志物或影像学指标能直接替代血清肌酐和尿量对肾功能损伤的提示作用，几乎所有生物标志物都会受到如 AKI 病因、测量时间、尿路感染等其他因素的影响，且其最佳测量值仍然不确定。另外，标准化检测平台的缺乏极大地阻碍了 AKI 早期诊断新方法的高质量分析验证。新型生物标志物或影像学等新方法的检测成本对患者的额外经济负担是否合理也是需要重点关注的问题。呼吁更多的关注和研究来解决这些临幊转化挑战，促进可靠的早期诊断急诊肾损伤的方法成功进入临幊实践并广泛使用。

参考文献

- [1] 曹路, 熊晓琦, 李文田, 等. 脓毒症病原菌及 HMGB1、sFlt-1、miR-21-3p 及 miR-578 水平对并发急性肾损伤的预测价值[J]. 中华医院感染学杂志, 2025, 35(23): 3544-3548.

- [2] 蒋伟, 王辉, 黄中伟, 等. 可溶性生长刺激表达基因 2 蛋白对脓毒症相关急性肾损伤的预测价值[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(16): 2291-2297.
- [3] 丁文森, 王海波, 张强, 等. 巨噬细胞移动抑制因子在脓毒血症所致急性肾损伤早期诊断和预后评估中的意义[J]. 中国血液净化, 2024, 23(5): 330-333.
- [4] 陈朴, 吴晓莉, 方慧. 血清尿酸、 β 2 微球蛋白水平对脓毒症患者并发急性肾损伤的评估价值及预后预测分析[J]. 四川医学, 2024, 45(11): 1241-1247.
- [5] 许雅楠, 李立志, 石平, 等. 脓毒症患者血清 NRF2、HO-1 水平变化及对并发急性肾损伤的预测价值[J]. 中国血液净化, 2023, 22(11): 810-815.
- [6] 赵阳, 郭瑞君, 葛辉玉, 等. 静脉负荷超声分级系统对脓毒症初始复苏后发生急性肾损伤的预测价值[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(2): 185-189.
- [7] 余芬, 刘娜, 江贵军, 等. 超声造影在脓毒症相关急性肾损伤诊断及预后预测中的临床价值[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(9): 685-689.
- [8] Thakar, C.V., Worley, S., Arrigain, S., Yared, J. and Paganini, E.P. (2005) Influence of Renal Dysfunction on Mortality after Cardiac Surgery: Modifying Effect of Preoperative Renal Function. *Kidney International*, **67**, 1112-1119. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1755.2005.00177.x>
- [9] Werner, S., Bez, C., Hinterleitner, C. and Horger, M. (2020) Incidence of Contrast-Induced Acute Kidney Injury (CI-AKI) in High-Risk Oncology Patients Undergoing Contrast-Enhanced CT with a Reduced Dose of the Iso-Osmolar Iodinated Contrast Medium Iodixanol. *PLOS ONE*, **15**, e0233433. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233433>
- [10] Vanmassenhove, J., Glorieux, G., Lameire, N., Hoste, E., Dhondt, A., Vanholder, R., et al. (2015) Influence of Severity of Illness on Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin Performance as a Marker of Acute Kidney Injury: A Prospective Cohort Study of Patients with Sepsis. *BMC Nephrology*, **16**, Article No. 18. <https://doi.org/10.1186/s12882-015-0003-y>
- [11] Sladen, R.N. (2024) Perioperative Acute Renal Injury: Revisiting Pathophysiology. *Anesthesiology*, **141**, 151-158. <https://doi.org/10.1097/alan.00000000000004993>
- [12] 汤振, 金晓萍, 金国珍, 等. 血浆 NGAL 水平对 ST 段抬高型心肌梗死患者直接 PCI 急性肾损伤的早期预测价值[J]. 临床心血管病杂志, 2025, 41(1): 39-43.
- [13] Devarajan, P. (2011) Biomarkers for the Early Detection of Acute Kidney Injury. *Current Opinion in Pediatrics*, **23**, 194-200. <https://doi.org/10.1097/mop.0b013e328343f4dd>
- [14] 吴澄, 金泓毅, 钟小梅. 动态监测血清脑钠肽、尿肾损伤分子-1、血清胱抑素 C 水平对小儿心脏术后急性肾损伤的评估价值[J]. 实用医学杂志, 2025, 41(13): 1964-1970.
- [15] 蒋馨谊. 白蛋白与球蛋白比值预测急性 A 型主动脉夹层术后急性肾损伤的临床分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京协和医学院, 2024.
- [16] 王琳升, 张旭东, 陆远, 等. 胱抑素 C 和抗凝血酶III对老年高血压患者造影剂急性肾损伤的预测价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(8): 862-866.
- [17] 申国旗, 王琳升, 张旭东, 等. 系统性免疫炎症指数和 N 末端 B 型钠尿肽前体对老年患者对比剂急性肾损伤的预测价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2024, 26(1): 25-29.
- [18] 张转, 陈超, 张芯绮, 等. 术中肾动脉阻力指数用于预测心脏手术后急性肾损伤的效果[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(9): 944-948.
- [19] 黄铭凤, 叶博, 崔林, 等. 金属蛋白酶组织抑制剂 2 联合胰岛素样生长因子结合蛋白 7 对急性胰腺炎患者急性肾损伤的预测价值[J]. 肾脏病与透析移植杂志, 2025, 34(4): 309-314.
- [20] 姜冰玉, 王世琪, 宋苗苗, 等. 尿[TIMP-2] \times [IGFBP7]对老年急性冠脉综合征患者急性肾损伤发病和预后的预测价值[J]. 中国老年学杂志, 2024, 44(14): 3410-3413.
- [21] 徐静静, 陈加平, 徐令奇, 等. 血清 ZO-1、Occludin、Claudin-1 联合 APACHEII 评分对高甘油三酯血症型重症急性胰腺炎并发急性肾损伤的预测价值[J]. 医学分子生物学杂志, 2025, 22(4): 374-378.
- [22] 吴冲, 邢益门, 周婷, 等. 老年急性胰腺炎患者血清 miR-29a 表达水平及其对并发急性肾损伤的预测价值[J]. 中国老年学杂志, 2023, 43(18): 4392-4394.
- [23] 彭娅, 张杰, 陈善亚, 等. 彩色多普勒超声对重症患儿急性肾损伤的诊断价值[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(1): 74-78.
- [24] 潘乃凡, 宋雪松. 术前氨基末端脑钠肽前体(NT-proBNP)与肝移植术后急性肾损伤的关系探讨[J]. 临床肝胆病

- 杂志, 2024, 40(8): 1653-1660.
- [25] 罗娅娟, 曹烨民, 董海生. NLR、APTT 对软组织感染的脓毒症病人合并急性肾损伤早期预测价值[J]. 安徽医药, 2025, 29(8): 1634-1638.
- [26] 冯艳, 秦昕, 邢瑞林, 等. 彩色多普勒超声联合 ICAM-1、VCAM-1 对感染性休克患者急性肾损伤的预测价值[J]. 中华医院感染学杂志, 2025, 35(3): 362-366.
- [27] 谢爽, 李繁, 黎仕焕. 老年营养风险指数联合中性粒细胞/淋巴细胞比值对术后急性肾损伤的预测价值[J]. 临床麻醉学杂志, 2023, 39(9): 916-922.