·专家论坛·

基于电子监控系统的急性肾损伤的流行病学调查进展

郑星月，罗群

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2024.04.002
【中图分类号】 R49；R592 【文献标志码】 C 【文章编号】 1671-0800(2024)04-0425-03

急性肾损伤（acute kidney injury，AKI）是临床常见的危急重症，发病率高，预后差，而目前尚无特效治疗方法以促进或加速肾脏的恢复[1]。电子监控系统可结合电子健康记录和临床信息系统，实时发出AKI警报，医务人员可通过启动肾内科会诊或临床决策支持系统指导临床干预。电子监控系统除通过血肌酐进行AKI判断外，还可将危险因素、易感因素及多种临床指标进一步整合完善数据库，有利于增加电子预警系统的敏感性和特异性，以期在AKI发生前进行干预。本文就目前电子监控系统在AKI流行病学调查中的应用进行综述。

1 AKI流行病学调查

流行病学资料显示，AKI的全球发病率为2 100/100万，需要肾脏替代治疗的AKI病死率高达50%～80%，全球每年约有200万人死于AKI。与非AKI患者相比，AKI患者发展为慢性肾脏病（chronic kidney disease，CKD）的风险高9倍，死亡的风险高2倍[2]。我国住院患者每年AKI患者估计高达（140～290）万例，疾病负担较重[3]。在我国一项大型、多中心回顾研究中发现，与未发生AKI的患者相比，发生AKI的患者住院时间更长（12 d *vs* 19 d）、费用更高（38 000元 *vs* 82 000元），接受ICU治疗（13.1% *vs* 45.0%）、肾脏替代治疗（0.4% *vs* 7.7%）更多[4]。住院患者发生AKI的原因包括肾前性、肾性（血管、肾小球、肾小管肾间质）及肾后梗阻性，其原因分布及发生率在不同科室间有较大差异，且国内AKI的肾内科会诊或转诊率均较低[5]。一项荟萃分析显示，成年住院患者的AKI发生率为18.3%，儿童发生率则达26%[6-7]。而我国的一项研究显示，住院患者的AKI发生率仅为3.02%[8]，与欧美国家发病率相差较大，主要原因为我国多采用人工统计，导致AKI发病率被大大低估，而欧美国家常采用电子信息系统自动统计，降低了AKI的漏诊率。2012年，改善全球肾脏病预后组织（Kidney Disease Improving Global Outcomes，KDIGO）提出新的AKI诊断及分期标准，使AKI流行病学研究的同质性和可比性大大提高[9]，这也使得电子监控系统在判断AKI是否发生有了更为明确的量化指标。

2 AKI电子监控系统

2.1 以肌酐为生物标志物的AKI电子监控系统

AKI电子监控系统主要是利用电子病历系统及临床信息系统自动识别AKI，当患者符合AKI KIDIGO诊断标准时，向主管医师发送预警。最早的AKI电子监控系统由Rind等学者建立，其自动监控网络检测血肌酐变化，识别AKI患者并发送药物使用建议，使AKI患者获益[10]。在2015年ADQI共识会议中，专家组提出进一步细化开发AKI电子监控系统的原则以改善AKI患者的诊疗和预后[11]。Al-Jaghbeer等对528 108例入院前无终末期肾病（end-stage kidney disease，ESKD）的患者进行多中心、连续分析，电子监控系统被嵌入电子病历，临床医生可点击警报标志以获得肌酐值及肾内科或重症监护咨询的建议。以是否实施AKI电子监控系统对患者进行分组，发现在AKI电子警报期间发生AKI患者中，死亡率

基金项目： 宁波市省市共建医学重点学科（2022-S03）；浙江省公益技术应用研究计划（LGF22H050009）；浙江省医药卫生科技计划项目（2021KY296）

作者单位： 315010 宁波，宁波市第二医院

通信作者： 罗群，主任医师（专业技术二级），教授，博士生导师。宁波市医学会肾脏病学分会主任委员，宁波市肾脏病质控中心常务副主任、专家组组长，浙江省医学会肾脏病学分会副主任委员，中国老年医学学会肾脏病学分会常务委员。Email：nbluoqun@163.com

（优势比：0.76，95% *CI*：0.70 ～ 0.83）、住院时间（优势比：0.91，95% *CI*：0.89 ～ 0.92）、需要透析治疗比例（优势比：0.66，95% *CI*：0.61 ～ 0.72）显著下降[12]。Park 等[13]选择了一种不同方法来评估 AKI 电子监控系统的作用，即当 AKI 发生时，电子监控系统会自动询问是否邀请肾内科会诊。结果显示 AKI 电子警报显著降低了 AKI 漏诊率、严重 AKI 的发生率，并促进了 AKI 的恢复。然而，2021 年的一项多中心随机对照试验显示使用 AKI 电子监控系统后患者透析率、死亡率没有降低[14]。Li 等[15]学者发现 AKI 电子监控系统并没有改善患者的预后，而是增加了外科 ICU 对透析的需求。这些不一致的结果可能与患者群体的多样性、AKI 警报的及时性、中断的层次结构及警报时间和内容有关[16]。

2.2　结合 AKI 早期生物标志物的电子监控系统　血肌酐是一种不敏感、受多种因素影响的肾功能非特异性生物标志物。肾损伤后可能需要长达 48 h 才显著升高，并受到血容量、肌肉质量、急性疾病和疾病并发症等因素的影响，从而导致假阳性或假阴性的结果，增加临床医生预警疲劳，减弱电子监控系统对临床结局的影响[17]。虽然尿量下降先于肌酐升高，是 KDIGO AKI 诊断标准的一部分；但是社区没有记录，医院往往记录很少。因此，结合早期生物标志物的 AKI 电子监控系统可能有助于更及时的干预[10]。近年来发现了一些新型早期标志物，如中性粒细胞明胶酶相关脂蛋白（neutropil gelatinase- associated lipocalin，NGAL）、白细胞介素-18（IL-18）及肝型脂肪酸结合蛋白（liver fatty acid-binding protein，L-FABP）等，它们能够早于传统肾脏标志物出现在血清或尿液中，有助于早期识别“亚临床”AKI[18]。本团队前期的研究也发现 NGAL 可在肾脏损伤 6 h 后显著升高，比血肌酐更敏感、特异[19]。Rashidi 等[20]学者使用血肌酐、尿量、N 端脑钠肽前体和 NGAL 4 项指标针对烧伤人群建立了 5 种机器学习模型用于预测 AKI。当去除 NGAL 后，5 种模型的预测准确度和曲线下面积（*AUC*）值均下降。另一项研究依据新型冠状病毒肺炎患者的常规临床数据、胸部 CT 定量和 NGAL 建立了 AKI 预测列线图模型，该模型 *AUC* 值高达 0.955，且 NGAL 贡献度最大[21]。然而，有限的检测可用性、较高的检测成本及对生物标志物的临床作用缺乏共识，限制了生物标志物的广泛使用，目前结合早期标志物的 AKI 预测型电子监控系统在临床中应用仍待进一步探索。

2.3　机器学习与电子监控预测系统　随着人工智能的发展，AKI 电子监控系统不仅仅局限于对个别指标的监测，整合患者信息，利用机器学习建立 AKI 预测模型，早期识别 AKI 高危患者，提示临床医生早期干预，实现 AKI 预警由被动进阶为主动。近年来，针对不同的 AKI 高危人群已开发了多种预测模型。除传统 Logistics 回归（Logistic regression，LR）算法外，梯度增强（gadient boosting machine，GBM）、极端梯度增强（extreme gradient boosting，XGBoost）、随机森林（random forest，RF）等多种机器学习算法也被用于建立 AKI 预测模型[22]。目前尚无研究证明某种算法在 AKI 预测方面具有显著优势。本团队针对血管外科择期行介入手术患者，构建对比剂相关急性肾损伤（CI-AKI）LR、XGBoost、RF、朴素贝叶斯（NB）、梯度提升决策树（GBDT）等 5 种预测模型，其中 NB 模型预测性能最好，其 *AUC* 可达 0.774[23]。Hu 等[22]利用儿科 ICU 入院后的前 24 h 内收集的数据，生成 11 个机器学习模型用于预测危重患儿住院期间发生的 AKI，RF 模型对 AKI 的预测效果最好，*AUC* 为 0.929，灵敏度为 88.6%，特异度为 86.6%，且在外部验证中其 *AUC* 达 0.910。2019 年 Tomašev 等 [24] 使用 703 738 名美国退伍军人的纵向数据建立递归神经网络模型，在 24、48 和 72 h 时间窗口内预测 AKI 的 *AUC* 分别为 0.934、0.921 和 0.914，在 AKI 连续预测中展示了巨大潜力。

3　AKI 电子监控系统联合集束化管理

AKI 电子监控系统之所以没有改善患者预后，与没有执行规范化的 AKI 治疗息息相关。一项随机临床试验的结果表明，AKI 电子警报并没有改善肾功能或其他以患者为中心的结果，而是改变了 AKI 管理措施 [15]。一项澳大利亚队列研究中显示 AKI 监控系统联合集束化管理增加了肾内科会诊率，停止肾毒性药物使用，降低了大多数 AKI 患者的住院时间[25]。Selby 等[26]学者在最近的一项多中心随机研究中，对 24 059 例 AKI 患者采取多层次的干预措施（AKI 电子预警、AKI 集束化治疗和教育计

划），结果发现综合干预组减少了住院时间，同时优化了医疗护理质量。

4 总结

人工统计的 AKI 流行病学资料，漏诊严重；院内 AKI 电子监控系统的建立可显著提高 AKI 患者的识别率，结合肾内科医师的及时会诊和指导，可能改善 AKI 患者预后。随着电子监控系统对患者信息收集、归纳、整理，结合 AKI 多特征建立多种预测模型，并结合集束化管理，有利于早期防治 AKI，改善患者预后。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

[1] SCHURLE A, KOYNER J L. CSA-AKI: Incidence, epidemiology, clinical outcomes, and economic impact [J]. J Clin Med, 2021,10 (24):5746.

[2] RONCO C, BELLOMO R, KELLUM J A. Acute kidney injury[J]. Lancet,2019,394(10212): 1949-1964.

[3] 郑华,张萌,赵泽,等.应用机器学习建立北京协和医院急性肾损伤预测模型:单中心研究计划[J].协和医学杂志,2021,12(6):913-921.

[4] CHENG Y, NIE S, ZHAO X, et al. Incidence, risk factors and outcome of postoperative acute kidney injury in China [J].Nephrol Dial Transplant,2024,23:gfad260.

[5] TANG X, CHEN D, YU S, et al. Acute kidney injury burden in different clinical units: Data from nationwide survey in China[J]. PLoS One,2017,12(2):e0171202.

[6] MEENA J, MATHEW G, KUMAR J, et al. Incidence of acute kidney injury in hospitalized Children: A meta-analysis[J]. Pediatrics,2023,151(2):e2022058823.

[7] HOSTE E A J, KELLUM J A, SELBY N M, et al. Global epidemiology and outcomes of acute kidney injury[J]. Nat Rev Nephrol,2018,14 (10):607-625.

[8] YANG L, XING G, WANG L, et al. Acute kidney injury in China: A cross-sectional survey[J]. Lancet,2015,386(10002):1465-1471.

[9] 闻英,席修明.急性肾损伤的流行病学研究进展[J].中华重症医学电子杂志(网络版),2017,3(2):143-147.

[10] BAIRD D, DE SOUZA N, LOGAN R, et al. Impact of electronic alerts for acute kidney injury on patient outcomes: Interrupted timseries analysis of population cohort data[J].Clin Kidney J,2021, 14(2):639-646.

[11] JAMES M T, HOBSON C E, DARMON M, et al. Applications for detection of acute kidney injury using electronic medical records and clinical information systems: workgroup statements from the 15(th) ADQI Consensus Conference[J]. Can J Kidney Health Dis, 2016,3:9.

[12] AL-JAGHBEER M, DEALMEIDA D, BILDERBACK A, et al. Clinical decision support for in-hospital AKI[J].J Am Soc Nephrol, 2018,29(2):654-660.

[13] PARK S, BAEK S H, AHN S, et al. Impact of electronic acute kidney injury (AKI) alerts with automated nephrologist consultation on detection and severity of AKI: A quality improvement study[J]. Am J Kidney Dis,2018,71(1):9-19.

[14] WILSON F P, MARTIN M, YAMAMOTO Y, et al. Electronic health record alerts for acute kidney injury: Multicenter, randomized clinical trial[J].BMJ,2021,372:m4786.

[15] LI T, WU B, LI L, et al. Automated electronic alert for the care and outcomes of adults with acute kidney injury: A randomized clinical trial[J].JAMA Netw Open,2024,7(1):e2351710.

[16] BENDALL A C, TAN S J, SEE E J, et al. Electronic alerts for early detection of acute kidney injury: Considering their implementation in Australian hospitals[J]. Med J Aust,2021,214(8):347-349.

[17] LIU K D, GOLDSTEIN S L, VIJAYAN A, et al. AKI! Now initiative: Recommendations for awareness, recognition, and management of AKI[J].Clin J Am Soc Nephrol,2020,15(12):1838-1847.

[18] ROBINSON C H, IYENGAR A, ZAPPITELLI M. Early recognition and prevention of acute kidney injury in hospitalised children [J]. Lancet Child Adolesc Health,2023,7(9):657-670.

[19] YE H H, SHEN G, LUO Q, et al. Early diagnosis of acute kidney injury in aged patients undergoing percutaneous coronary intervention [J]. J Zhejiang Univ Sci B,2018,19(5):342-348.

[20] RASHIDI H H, SEN S, PALMIERI T L, et al. Early recognition of burn- and trauma-related acute kidney injury: A pilot comparison of machine learning techniques[J]. Sci Rep,2020,10(1):205.

[21] HE L, ZHANG Q, LI Z, et al. Incorporation of urinary neutrophil gelatinase-associated lipocalin and computed tomography quantification to predict acute kidney injury and in-hospital death in COVID-19 Patients [J]. Kidney Dis (Basel),2021,7(2):120-130.

[22] HU J, XU J, LI M, et al. Identification and validation of an explainable prediction model of acute kidney injury with prognostic implications in critically ill children: A prospective multicenter cohort study [J]. E Clinical Medicine,2024,68:102409.

[23] ZHOU F, LU Y, XU Y, et al. Correlation between neutrophil-to-lymphocyte ratio and contrast-induced acute kidney injury and the establishment of machine-learning-based predictive models[J]. Ren Fail,2023, 45(2):2258983.

[24] TOMAŠEV N, GLOROT X, RAE J W, et al. A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury[J]. Nature,2019,572(7767):116-119.

[25] KOTWAL S, HERATH S, ERLICH J, et al. Electronic alerts and a care bundle for acute kidney injury-an Australian cohort study[J]. Nephrol Dial Transplant,2023,38(3):610-617.

[26] SELBY N M, CASULA A, LAMMING L, et al. An organizational-level program of intervention for AKI: A pragmatic stepped wedge cluster randomized trial[J]. J Am Soc Nephrol,2019,30(3):505-515.

收稿日期：2024-03-22

（本文编辑：孙海儿）