

糖尿病酮症酸中毒非计划再入院列线图预测模型

刘欢欢,梁昌丽,陈礼爱,郑林冰,黎凤德,全会标

海南省人民医院,海南医科大学附属海南医院,海南 海口 570311

【摘要】 目的 建立预测糖尿病酮症酸中毒(Diabetic ketoacidosis,DKA)非计划再入院风险的列线图模型。**方法** 回顾性收集 2017 年 1 月至 2023 年 1 月于某三甲医院住院的 DKA 患者资料。按有无 30 天非计划再入院分为再入院组 30 例和非再入院组 170 例。采用 Logistic 回归分析 DKA 非计划再入院影响因素,绘制 ROC 曲线,构建列线图。**结果** 再入院组和非再入院组患者在病程、白细胞、血红蛋白、PH 值、剩余碱、血钾、血钠、D-3 羟丁酸、尿酸、甘油三酯、尿微量白蛋白肌酐比值(urine albumin creatinine ratio,UACR)、糖尿病视网膜病变、呼吸系统疾病比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。糖尿病视网膜病变、血钾、UACR 是 DKA 非计划再入院的独立影响因素($P<0.05$),结合变量构建列线图模型(AUC=0.855, 95%CI: 0.778~0.923),模型具有良好的拟合校准曲线。**结论** 糖尿病视网膜病变、血钾、UACR 构建出的列线图模型对 DKA 非计划再入院具有较好的预测价值。

【关键词】 糖尿病;酮症酸中毒;再入院;列线图;危险因素

【中图分类号】 R587.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2026)03-0166-05

Prediction model of unplanned readmission nomogram of diabetes ketoacidosis LIU Huan-huan, LIANG Chang-li, CHEN Li-ai, ZHENG Lin-bing, LI Feng-de, QUAN Hui-biao *Hainan Provincial People's Hospital, Hainan Medical University Affiliated Hainan Hospital, Haikou 570311, China*

【Corresponding author】 QUAN Hui-biao

【Abstract】 Objective To construct a nomogram model to predict unplanned readmission of diabetic ketoacidosis (DKA). **Methods** Clinical data of patients with DKA admitted to a tertiary hospital from January 2017 to January 2023 were respectively collected. Patients were divided into a readmission group ($n=30$) and a non-readmission group ($n=170$) according to the presence or absence of unplanned readmission within 30 days. Logistic regression analysis was conducted to analyze the risk factors associated with unplanned readmission of diabetic ketoacidosis. ROC curve was drawn. A nomogram was constructed. **Results** There were statistic difference in duration, leucocyte, hemoglobin, PH, residual base, potassium, sodium, D-3 hydroxybutyric acid, uric, triglyceride, urine albumin creatinine ratio (UACR), diabetic retinopathy and respiratory diseases between the two groups ($P<0.05$). Diabetic retinopathy, potassium and UACR were independent risk factors for readmission of DKA ($P<0.05$). A nomogram model was constructed with these variables (AUC=0.855, 95%CI:0.778-0.923). The model had a good fit calibration curve. **Conclusions** The nomogram constructed by diabetic retinopathy, potassium, UACR has a good predictive value for diabetic ketoacidosis.

【Key words】 Diabetes; Ketoacidosis; Readmission; Nomogram; Risk factors

糖尿病酮症酸中毒(Diabetic ketoacidosis, DKA)是一种危及生命的糖尿病急性并发症。虽然近年 DKA 病死率有所下降,但是反复再入院和导致的医疗费用增加备受关注^[1]。非计划再入院是指患者在出院后短期内,由同一疾病或相关疾病引起的再次入院^[2],再入院时间间隔包括 7 天、28 天、30 天及 12 个月,常见时间间隔为 30 天。再入院率作为公立医院新增绩效考核指标之一,是衡量医疗质量的重要指标。DKA 再入院率高达 19.4%~52.2%^[3,4],1 型糖尿病患者 DKA 后 1 年内再入院率高达 25%^[5]。国外研究中 DKA 再入院影响因素涉及性别、种族、经济状况、合并症等,而亚裔是 DKA 患者 ICU 治疗的独立危险因素^[6]。因此,有必要了解我国 DKA 再入院高风险人群,

提前进行干预,减少再入院的发生。本文分析本院 DKA 患者临床资料,探讨 DKA 再入院的影响因素,构建列线图模型并验证,为筛查高风险人群提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集 2017 年 1 月至 2023 年 1 月海南省人民医院收治 DKA 患者 200 例。纳入标准:①诊断为糖尿病酮症酸中毒^[7];血糖增高(≥ 11.1 mmol/L),或既往有糖尿病史伴血 β -羟丁酸 ≥ 3.0 mmol/L 或尿酮阳性(++以上),血 pH 值降低(pH 值 <7.3)和(或)碳酸氢根 <18 mmol/L_o;②住院大于 24 小时;排除标准:①计划再入院者;②妊娠糖尿病患者;③本院别科转入糖尿病患者;④临床数据不完整者。根据患者出院后 30 天内是否非计划再入院分为再入院组 30 例和非再入院组 170 例。按“住院次数大于 1”和“出院日期和入院日期之差 ≤ 30 天”纳入再入院组,本研究获得所在医院伦理委员会审核批准。患者及家属均知情同意。

【基金项目】 海南省卫生健康科技创新联合项目(编号:WSJK2025MS178);海南省卫生健康行业科研项目(编号:22A200197);海南省临床医学中心建设项目资助

【通讯作者】 全会标

1.2 方法 收集临床资料包括性别、年龄、婚姻、吸烟、饮酒、体质指数、血压、腰臀比、入院快速床旁血糖、0 分钟 C 肽、120 分钟 C 肽、白细胞、血红蛋白、糖化血红蛋白(HbA1c)、血钾、血钠、D-3 羟丁酸、尿素氮、肌酐、白蛋白、甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、尿微量白蛋白肌酐比值(UACR)、肌酐、肾小球滤过率(eGFR)、糖尿病类型、糖尿病病程、住院天数、糖尿病并发症和合并症、注射胰岛素及注射次数。计算糖尿病微血管并发症个数,即糖尿病肾病、糖尿病视网膜病变、糖尿病周围神经病变之和。

1.3 统计学方法 采用 SPSS 17.0 和 R3.5.3 软件进行统计分析。符合正态分布计量资料采用均数 $\pm$ 标准差描述,组间比较采用独立样本 t 检验。不符

合正态分布的计量资料采用 $M[(Q1, Q3)]$ 描述,组间比较采用非参数秩和检验。计数资料采用 $n(\%)$ 表示,组间比较采用检验。通过 Logistic 回归分析筛选 DKA 非计划再入院的影响因素, $P<0.05$ 差异有统计学意义。构建 DKA 非计划再入院列线图模型,绘制校准曲线评估模型的校准度,绘制 ROC 曲线评估模型预测效能。使用临床决策曲线评估模型预测 DKA 非计划再入院的临床实用性。

2 结果

2.1 基线特征 再入院组与非再入院组患者病程、白细胞、血红蛋白、PH 值、剩余碱、血钾、血钠、D-3 羟丁酸、尿酸、甘油三酯、UACR、肌酐、eGFR、糖尿病视网膜病变,呼吸系统疾病比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

表 1 两组临床特征比较

指标	非再入院组($n=170$)	再入院组($n=30$)	统计量	P
年龄(岁)	43.92 $\pm$ 17.82	47.10 $\pm$ 15.67	$t=-1.002$	0.322
病程(年)	2(1,8.5)	6(3,13)	$Z=-2.769$	0.006
女性[$n(\%)$]	50(29.41)	11(36.67)	$\chi^2=0.633$	0.426
住院天数(天)	9(7,11)	9(4,12)	$Z=-0.735$	0.462
初发 DKA[$n(\%)$]	74(43.5)	4(13.3)	$\chi^2=8.156$	0.004
1 型糖尿病[$n(\%)$]	52(30.59)	9(30)	$\chi^2=0.004$	0.949
饮酒[$n(\%)$]	50(29.41)	6(20)	$\chi^2=1.036$	0.309
收缩压(mmHg)	124.85 $\pm$ 25.47	129.90 $\pm$ 24.60	$t=-1.967$	0.315
舒张压(mmHg)	75.63 $\pm$ 12.39	79.63 $\pm$ 15.84	$t=-1.559$	0.197
入院快速血糖(mmol/L)	16.74 $\pm$ 5.56	17.37 $\pm$ 6.88	$t=-0.538$	0.591
白细胞($\times 10^9/L$)	12.51(8.46,16.12)	8.08(7.13,10.99)	$Z=-3.267$	0.001
血红蛋白(%)	140.06 $\pm$ 27.46	125.60 $\pm$ 22.76	$t=2.722$	0.007
糖化血红蛋白(g/L)	12.67 $\pm$ 2.71	11.97 $\pm$ 3.16	$t=1.271$	0.205
PH 值	7.29 $\pm$ 0.13	7.34 $\pm$ 0.10	$t=-2.355$	0.015
剩余碱(mmol/L)	-11.73 $\pm$ 7.47	-8.22 $\pm$ 6.98	$t=-2.242$	0.026
血钾(mmol/L)	4.44 $\pm$ 0.81	3.82 $\pm$ 0.56	$t=3.970$	0.000
血钠(mmol/L)	132.89 $\pm$ 8.17	135.14 $\pm$ 3.28	$t=-1.462$	0.011
D3-羟丁酸(mmol/L)	6.78(3.51,8.68)	2.58(1.10,6.39)	$Z=-3.926$	<0.001
尿素氮(mmol/L)	7.24(4.71,11.29)	5.24(4.22,10.90)	$Z=-1.719$	0.086
UACR(mg/mmol)	43.15(14.75,120.98)	49.85(24.55,77.68)	$Z=-2.428$	0.016
肌酐(μ mol/L)	71.0(51.8,103.3)	62.5(44.0,99.8)	$Z=-0.972$	0.331
eGFR[$ml/(\min \cdot 1.73m^2)$]	102.42(65.19,158.38)	112.44(52.82,146.06)	$Z=-0.297$	0.767
尿酸(μ mol/L)	532.46 $\pm$ 212.59	403.92 $\pm$ 205.38	$t=3.068$	0.002
甘油三酯(mmol/L)	1.41(1.00,2.30)	1.17(0.77,1.63)	$Z=-2.089$	0.037
空腹 C 肽(nmol/L)	0.37(0.21,0.77)	0.34(0.18,0.65)	$Z=0.406$	0.685
120 分 C 肽(nmol/L)	0.61(0.30,1.06)	0.54(0.23,0.93)	$Z=-0.045$	0.964
糖尿病肾病[$n(\%)$]	43(25.29)	12(40)	$=2.766$	0.096
糖尿病视网膜病变[$n(\%)$]	12(7.06)	9(30)	$\chi^2=14.281$	0.000
呼吸系统疾病[$n(\%)$]	69(40.59)	5(16.67)	$\chi^2=5.307$	0.021
微血管并发症总数 ≥ 3 个[$n(\%)$]	57(33.53)	12(40)	$\chi^2=0.442$	0.506

2.2 再入院风险的多因素 Logistic 回归分析 以是否再入院为因变量,以两组单因素分析比较差异有统计学意义的危险因素为自变量进行多因素

Logistic 回归分析,结果显示,糖尿病视网膜病变、血钾、UACR 是 DKA 非计划再入院的独立影响因素($P<0.05$)。见表 2。

表 2 再入院危险因素的 Logistic 回归分析

变量	β	SE	OR	95%CI	P
常数	3.083	2.325	1.759	21.832	
糖尿病视网膜病变	2.188	0.823	7.076	1.779~44.741	0.008
血钾	-0.969	0.417	5.387	0.167~0.860	0.020
UACR	0.001	0.001	4.123	1.000~1.003	0.042

2.3 再入院风险列线图建立及验证 基于多因素 Logistic 回归分析中筛选的独立危险因素构建列线图模型,见图 1。绘制校准曲线评估模型的校准度,使用 Bootstrap 法对列线图模型进行内部验证,自抽样重复 1000 次,拟合优度检验 = 7.197 ($P = 0.516$),说明该模型校准度较高,校准曲线见图 2。绘制列线图模型的 ROC 曲线,结果显示 $AUC = 0.855, 95\%CI(0.778, 0.923), P<0.001$,见图 3。约登指数最大值为 0.606,灵敏度为 0.850,特异度为 0.756,此时截断值为 0.121。见图 3。决策曲线显示,在 1%~90% 风险阈值范围内,列线图有较好的净获益值,说明该列线图模型具有较好的临床适用性。见图 4。

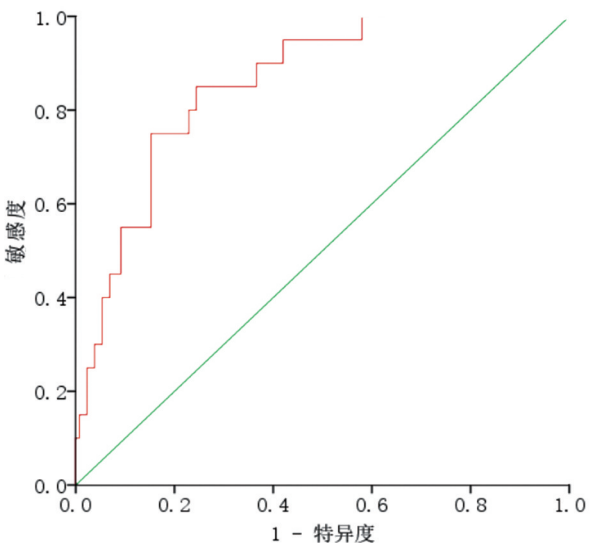


图 3 糖尿病酮症酸中毒非计划再入院风险预测模型的 ROC 曲线

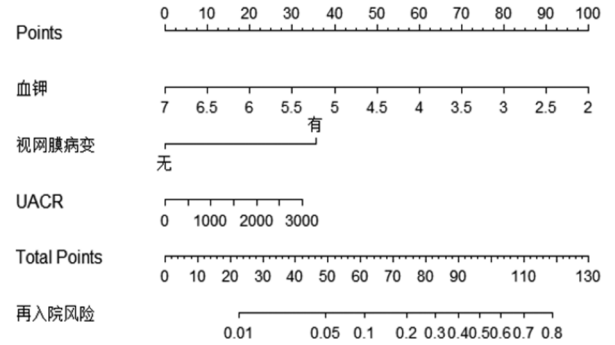


图 1 糖尿病酮症酸中毒非计划再入院风险列线图模型

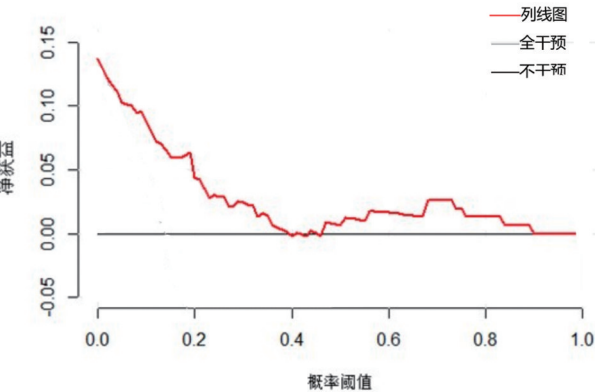


图 4 糖尿病酮症酸中毒非计划再入院风险预测模型的决策曲线

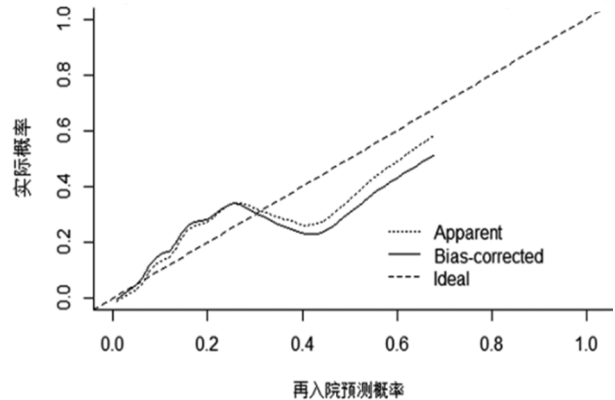


图 2 糖尿病酮症酸中毒非计划再入院风险预测模型校准曲线

3 讨论

本研究发现低血钾是 DKA 非计划再入院的影响因素,与 Ata 等^[8]研究不一致,后者研究发现低血钾导致 DKA 患者住院时间延长,但是与 DKA90 天非计划再入院无关。这可能由于研究人群有关。Ata 等^[8]研究对象中 1 型糖尿病患者的比例更高,年龄更偏向青年人群,研究人群包含阿拉伯人、亚洲人、非洲人,而本研究人群均来自中国。血钾是 DKA 病理生理变化中重要的代谢指标。DKA 病理

生理变化中,肾小管葡萄糖浓度升高产生渗透性利尿失钾,酸中毒时纳差恶心呕吐引起钾离子丢失,钾从细胞内移到细胞外维持钾稳态。本研究中,再入院组未开始小剂量胰岛素补液治疗之前,基线血钾比非再入院组低,可能维持血钾稳态的能力相对较弱。血钾参与胰岛素的分泌过程,鲜彤章等^[9]研究显示空腹血钾在正常范围内高值者较低值者有更好的胰岛素分泌功能。低血钾不利于胰岛素分泌,低血钾通过胰岛素抵抗和胰岛素时相等环节影响胰岛素分泌^[10],影响 DKA 发病。低血钾增加 DKA 并发急性胰腺炎的风险^[11],进一步增加患者非计划再入院的风险。提示临床医务人员在 DKA 诊疗过程中,应关注基线低血钾的糖尿病患者,及时进行预判性的干预,以减少再入院的发生。

美国全国再入院数据库 18~44 岁年龄组数据显示,糖尿病并发症是最常见的再入院诊断之一。合并糖尿病并发症增加患者再入院的概率^[12]。本研究显示,糖尿病微血管并发症中的视网膜病变,是 DKA 患者非计划再入院的独立危险因素。本研究中,虽然初发 DKA 病情稍严重,PH 值更低,但是初发 DKA 非计划再入院比例仅占 13.3%,DKA 后非计划再入院主要受到糖尿病慢性并发症的影响。糖尿病视网膜病变作为慢性微血管并发症,严重程度与视觉相关生活质量密切相关^[13],患者再入院治疗迫切性增加。本研究中合并糖尿病视网膜病变的糖尿病病程超过 10 年比例更高,年龄偏大,合并其他糖尿病并发症比例多,既往研究表明查尔森合并症指数大于等于 3 分是 1 型糖尿病患者非计划再入院的独立危险因素^[15]。查尔森合并症指数是基于慢性基础疾病对预后影响而提出的一种评分系统,它通过评估患者的基础疾病,有效反映其共病负担。涵盖 19 种基础疾病,每种疾病的权重在 1 至 6 分不等,患者的最终评分为这些疾病权重的累加总和。目前已被广泛应用于衡量疾病的共病负担。说明针对 DKA 再入院预防,不仅从急性并发症的角度去诊疗,做好糖尿病慢性并发症的管理同样重要。

本研究显示,UACR 是 DKA 非计划再入院的影响因素。有研究发现糖尿病肾病是 1 型糖尿病非计划再入院的危险因素^[14]。这为本研究的结果提供了参考。UACR 作为临床常用白蛋白尿的评价指标,常用于判断早期糖尿病肾病。UACR 对肾功能异常反映敏感,即使正常范围内 UACR 与糖尿病肾病、DR 存在密切关系^[15]。本研究中两组 DKA 患者在糖尿病肾病比例、肌酐比较,差异无统计学意义,可能受到纳入样本量的限制,也可能 UACR 变化对 DKA 患者非计划再入院影响早于肾功能变

化。随着 UACR 升高,从微量白蛋白尿进展到大量白蛋白尿,患者因糖尿病肾病反复住院治疗。提示临床医师关注 UACR 升高的 DKA 患者,及时保护和改善肾功能有助于预防再入院。

本研究显示两组患者 C 肽差异无统计学意义($P>0.05$),但是临床实践中,患者多因血糖控制不佳而住院治疗,分析原因,一方面可能与本研究纳入时间窗有关。本研究仅分析 30 天再入院患者,并未纳入 60 天或 90 天非计划再入院数据。患者胰岛功能差、血糖波动大可能是从更长时间窗上影响再入院,另一方面,从患者角度来说,胰岛功能差的患者血糖波动比较大,随着患者对自身血糖波动特点的习以为常,可能并不会因此而立即再次住院治疗。今后可开展纵向研究,进一步探索研究。

本研究构建的 DKA 列线图模型简洁方便、准确性高、实用性强,便于临床医生操作和使用,充分考虑临床资料的可及性和便利性,有助于临床医师有针对性的评估 DKA 患者,为临床医务人员分析和评估再入院风险提供预警工具,为 DKA 再入院精准干预提供参考。本研究存在一定的局限性,样本量偏小,为单中心研究。未来需要开展生活方式、经济行为等方面影响因素进一步评价。

【参考文献】

- [1] Viridi N, Poon Y, Abaniel R, et al. Prevalence, cost, and burden of diabetic ketoacidosis[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2023, 25(S3): S75-S84.
- [2] 陈丽. 我国再入院率衡量住院医疗服务质量的适用性分析[J]. *中国医院管理*, 2016, 36(1): 48-50.
- [3] Regassa LD, Tola A. Magnitude and predictors of hospital admission, readmission, and length of stay among patients with type 2 diabetes at public hospitals of Eastern Ethiopia: a retrospective cohort study[J]. *BMC Endocr Disord*, 2021, 21(1): 74.
- [4] Shaka H, Aguilera M, Aucar M, et al. Rate and predictors of 30-day readmission following diabetic ketoacidosis in type 1 diabetes mellitus: a US analysis[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2021, 106(9): 2592-2599.
- [5] Tomic D, Craig ME, Magliano DJ, et al. Reasons for hospitalisation in youth with type 1 diabetes, 2010-2019[J]. *Diabet Med*, 2024, 41(1): e15218.
- [6] Khan AA, Ata F, Iqbal P, et al. Clinical and biochemical predictors of intensive care unit admission among patients with diabetic ketoacidosis[J]. *World J Diabetes*, 2023, 14(3): 271-278.
- [7] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病防治指南(2024 版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2025, 17(1): 16-139.
- [8] Ata F, Khan AA, Khamees I, et al. Clinical and biochemical determinants of length of stay, readmission and recurrence in patients admitted with diabetic ketoacidosis[J]. *Ann Med*. 2023, 55(1): 533-542.
- [9] 鲜彤章, 潘琦, 王晓霞, 等. 住院 2 型糖尿病患者血钾稳态与糖代谢的关系[J]. *中华糖尿病杂志*, 2018, 10(6): 398-403.